

Levykuormituskoemenetelmien vertailu

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

2023

Teemu Kukkonen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Kukkonen, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 46	Valmistumisaika 2023
Työn nimi Levykuormituskoemenetelmien vertailu		
Tutkinto Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajaorganisaatio Ramboll Finland Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Ramboll Finland Oy:n sekä Lappeenrannan kaupungin kanssa. Tarkoituksena oli selvittää levykuormituskokeen toteutuksessa havaittavista eroavaisuuksista syntyviä tuloseroja ja vertailla niitä toisiinsa. Tavoitteena oli saada mahdollisimman tasalaatuiset maaperäolosuhteet, jotta voitaisiin tarkastella kuormituslevyn yläpuolisia tekijöitä ja tulkita niitä.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuuteen kerättiin tietoa vanhoista ohjeista levykuormituskokeeseen liittyen sekä muiden maiden normeista ja standardeista. Maarakenteiden teoriaa selvitettiin kirjallisuudesta sekä julkaisuista. Opinnäytetyön tavoitteena on saada tietoa siitä, miten levykuormituskokeen suoritustapaa tulisi kehittää tulevaisuudessa sekä selvittää lisätutkimuksia vaativia asioita tulevaa levykuormituskokeen standardia varten.</p> <p>Opinnäytetyöhön suoritettiin tutkimukset työmaaolosuhteissa. Kirjoittaja on suunnitellut ja toteuttanut kaikki tutkimukset opinnäytetyötä varten. Tehdyistä tutkimuksista havaittiin, että erilaisilla tutkimusmenetelmillä tehdyissä koetuloksissa oli eroavaisuuksia. Kaivinkoneesta otetut levykuormituskokeiden muodonmuutosmoduuli ja tiiviyssuhde olivat suurempia kuin kuorma-autosta otettujen kokeiden. Esikuormituksen suuruus tuotti eroavaisuutta painumaan. Opinnäytetyön johtopäätöksissä on esitetty huomioita levykuormituskokeen kehittämistä varten.</p>		
Asiasanat levykuormituskoe, pudotuspainolaite, tiivistäminen, maarakenteet, sitomattomat kerrokset, tiiviyssuhde		

Abstract

Author(s) Kukkonen, Teemu	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 46	
Title of Publication Comparison of different plate load test methods		
Name of Degree Engineer (UAS), Civil and Construction Engineering		
Organization of the client Ramboll Finland Oy		
Abstract <p>This thesis was carried out in cooperation with Ramboll Finland Oy and city of Lappeenranta. The purpose of this study is to examine different plate load test methods and compare results. The purpose between client and the consultant is to find standardized way to implement quality control. the aim was to create stable soil conditions for plate load test to examine factors above steel sheet.</p> <p>The information for the theory was gathered from literature, regulations, and standards from different countries. The theoretical part deals with soil structure as a material, material compactness, plate load test theory, falling weight deflectometer theory and differences between static and dynamic load. The aim is to get more information how plate load test method could be developed in the future and clarify more studies for future standard of plate load test.</p> <p>Research was carried out under construction conditions for the thesis. Writer of this thesis planned and executed all quality control tests for this thesis. The results of the study show that different methods gave different results. The research show that E-module and compactness ratio from excavator are better comparing to tests from the truck. The magnitude of the preload produced differential settlement. The thesis ends with author's view of the developing plate load test and quality control in general.</p>		
Keywords plate load test, falling weight deflectometer, compaction, soil structures, unbound materials, compactness ratio,		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Maarakenteiden tiivistäminen.....	2
2.1	Yleisestä maarakenteista.....	2
2.2	Tiivistämisen vaikutukset rakenteeseen.....	3
2.3	Tiivistämisessä käytetty kalusto.....	4
3	Maarakenteet.....	6
3.1	Huokostila.....	6
3.2	Tiivystila.....	7
3.3	Kantavuus.....	13
4	Levykuormituskoe.....	14
4.1	Toimintaperiaate.....	14
4.2	Tuloksen laskenta.....	17
5	Loadman-pudotuspainolaite.....	20
5.1	Toimintaperiaate.....	20
5.2	Tuloksen laskenta.....	21
6	Tutkimus.....	22
6.1	Tutkimuksen kuvaus.....	22
6.2	Poikkeavuudet levykuormituskokeiden normeista/standardeista.....	22
6.3	Vastapaino.....	24
6.4	Tutkimuspaikka ja tutkimussuunnitelma.....	24
6.5	Maanäytteiden tutkimustulokset.....	27
6.6	Loadman-pudotuspainolaitemittaukset 8.8.2022.....	30
6.7	Loadman-pudotuspainolaitemittaukset 10.8.2022.....	32
6.8	Levykuormituskokeet jakava kerros 16.8–17.8.2022.....	33
6.9	Levykuormituskokeet kantava kerros 1.9.2022 ja 5.9.2022.....	35
7	Tutkimustulosten tarkastelu.....	39
7.1	Esikuormitustarkastelu ja kuormituksen purkamisen tarkastelu.....	39
7.2	Vastapainotarkastelu.....	42
7.3	Havaintoja ja haasteita tutkimuksessa.....	43
7.4	Jatkoehdotukset.....	45
	Lähteet.....	47

Liitteet

Liite 1. Levykuormituskoemenetelmät

Liite 2. Maanäytteiden tutkimustulokset

Liite 3. Loadman-pudotuspainolaite tulokset

Liite 4. Levykuormituskoetulokset

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan erilaisin koemenetelmin saatuja tuloksia ja vertaillaan niitä toisiinsa. Tutkimusta tehdessä tullaan myös selvittämään laitteiston tarkkuustason kelpoisuutta käytännössä ja vertaamaan sitä ohjeellisiin vaatimuksiin. Opinnäytetyön aiheen antoi suunnittelu- ja konsultointialan yritys Ramboll Finland Oy. Aihe valikoitui toimeksiantajan halusta kehittää laadunvalvontaa sekä omasta kiinnostuksesta aihetta kohtaan.

Maarakenteiden laadunvarmistus voidaan suorittaa erilaisilla laadunvarmistusmenetelmillä. Suomessa kuitenkin luotettavimpana menetelmänä käytetään pisimpään käytössä olutta levykuormituskoetta. Laitteiston vaatimuksiin ei ole olemassa standardia. Viimeisin levykuormituskokeelle julkaistu ohjeistus Suomessa on Väyläviraston *julkaisussa 21/2021 Radan eristys- ja välikerroksen luonnonmateriaalin rakeisuuden vaikutus kantavuuteen* aikaisempia ohjeistuksia on vanhentuneessa Tiehallinnon *ohjeessa Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset* ja Liikenneviraston (nyk. Väyläviraston) *julkaisussa 10/2011 Radan eristys- ja välikerroksen tiiviys- ja kantavuustutkimus*.

Aineisto kerättiin olemassa olevasta kirjallisuudesta, aiheesta tehdyistä julkaisuista, ohjeista ja standardeista. Tutkimusta varten kerättiin levykuormituskokeen ohjeita ja standardeja Suomen lisäksi myös Saksasta, Norjasta, Ruotsista ja Tanskasta. Näiden ohjeiden pohjalta toteutettiin tutkimuksen koemenetelmät. Aihe rajattiin käsittelemään levykuormituskokeen tekotapaa. Tutkimuksessa suoritettavat laskelmat on toteutettu viimeisimmän InfraRYL:n ohjeen mukaisesti jokaisesta koemenetelmästä. Tuloksia ei siis laskea maiden omien ohjeistuksien mukaisesti.

Opinnäytetyön teoriaosuus koostuu maarakenteiden osien selvityksestä ja niiden vaikutuksista rakenteessa, tiivistystyön toteuttamisesta sekä levykuormituskokeen ja kevyen Loadman-pudotuspainolaitteen toimintaperiaatteiden selvityksestä. Maarakenteiden osalta tässä opinnäytetyössä käydään teoriaa siltä osin kuin tiivistämistyö sitä edellyttää. Tutkimusosuudessa suoritettiin kenttäkokeita, jotta tutkimustapojen eroavaisuuksia voitaisiin selvittää. Levykuormituskokeita tutkitaan väylän rakennekerrosten suhteen.

2 Maarakenteiden tiivistäminen

2.1 Yleisestä maarakenteista

Rakentaminen on aina yhteydessä maaperään. Maarakenteiden tehtävänä on välittää hallitusti rakennuksista ja rakenteista kohdistuvat rasitukset maa- ja kallioperään. Maarakenteet voivat olla luonnon materiaaleja tai niistä jalostettuja kiviaineksia. Maarakenteet koostuvat kiviaineksesta ja rakeiden väliin jäävästä huokostilasta. Huokokset koostuvat vedestä ja ilmasta.

Maarakenteita ovat esimerkiksi rakennuksien ja siltojen pohjarakenteet, väylien ja sekä erilaisten kenttien rakenteissa. Väylärakentamisessa maarakenteita kutsutaan alusrakenteeksi ja päällysrakenteeksi. Kuvassa 1 on esitetty erään kadun kantava kerros.



Kuva 1. Kadun kantava kerros

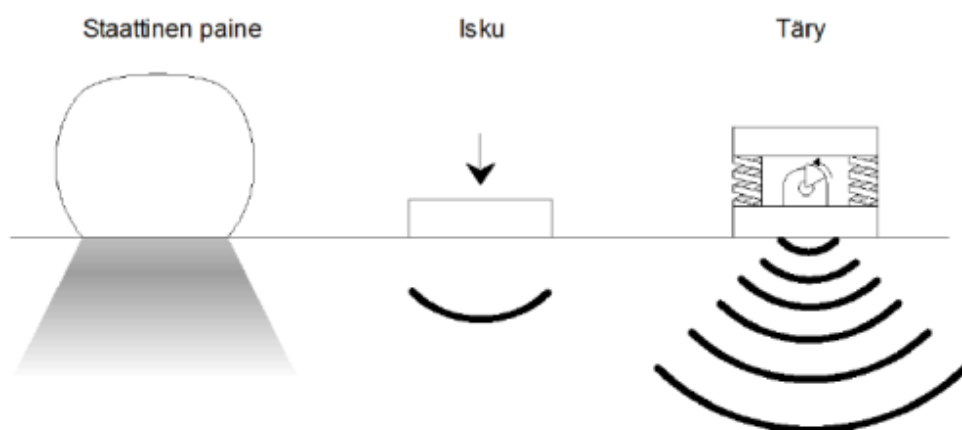
Maarakenteiden laatua valvotaan tiiviyys- ja kantavuusmittauksin. Väylän kantavuutta tutkitaan ottamalla rakennekerroksen päältä laadunvarmistuskoe ja vertaamalla sitä suunnittelijan määrittämiin vaatimuksiin. Yleisin laadunvarmistusmenetelmä on levykuormituskoe, jota tässä opinnäytetyössä tutkitaan. Maarakenteiden tiivistämisen tavoitteena on saavuttaa rakenteelle vaadittu kantavuus. Tiivistystyössä löyhässä tilassa olevaan kiviainekseen kohdistetaan energiaa, joka saa aikaan rakenteen huokostilan pienenemisen. Tiivistämi-

sellä halutaan saada minimoitua rakenteessa tapahtuvat käytön aikaiset painumat. Hyvänä esimerkkinä tästä on väylän urautuminen tai rakennuksen painuminen.

2.2 Tiivistämisen vaikutukset rakenteeseen

Tiivistäminen tekee rakenteesta jäykemmän, lujemman ja parantaa maarakenteen tilavuuspainoa. Löyhäksi jääneen rakenteen muodonmuutoksista suurin osa on pysyviä muutoksia. Rakenteen muodonmuutokset tapahtuvat löyhässä rakenteessa heti rakenteen valmistumisen alkuvaiheessa. Pysyvien muodonmuutosten estämisessä tärkein yksittäinen ominaisuus on maamateriaalin leikkauslujuus, joka on riippuvainen tiivistilasta ja rakenteen jäykkyydestä. Toistokuormitetuissa rakenteissa osa kuormituksen aiheuttamasta muodonmuutoksesta on kimmoisaa eli rakenne palautuu kuormituksen poistuessa. Tiivistämisessä käytetty energia on kuitenkin tärkein yksittäinen kriteeri tiivistystyötä tehdessä. (Kalliainen ym. 2011, 19.)

Työmenetelminä tiivistystyössä käytetään staattista tiivistystä, iskutiivistystä ja tärytiivistystä. Staattinen tiivistys tapahtuu usein koneen omalla massalla. Iskutiivistyksellä voidaan suorittaa korkeiden täyttöjen tiivistystä. Iskutyypinen tiivistys tarkoittaa pudotustiivistystä, jossa massa pudotetaan maahan tiivistäen rakennetta paksummin rakennekerroksin. Rakennekerroksien tiivistyksessä on usein käytössä tärytiivistys, koska sen on todettu olevan tehokkaampi tiivistysmuoto kuin pelkällä staattisella paineella suoritettu tiivistys. Pudotustiivistyksessä tapahtuvan pinnan löyhtymisen ja rakenteessa tapahtuvan materiaalien sekoittumisen myötä ei pudotustiivistystä voi hyödyntää rakennekerroksien tiivistämisessä. Kuviossa 1 on havainnollistettu erilaiset tiivistysmuodot. (Kalliainen ym. 2011, 22–23.)



Kuvio 1. Erilaisia maarakenteiden tiivistysmenetelmiä (Kalliainen ym. 2011, 23)

Tiivistyksessä on tarkoitus käyttää mahdollisimman suurta energiaa rakeita rikkomatta. Tärytiivistyksellä on kaksi erilaista muotoa. Tavanomainen tärytiivistys on liikettä, joka tapahtuu ainoastaan pystysuunnassa. Kun valssi liikkuu pysty- että vaakasuunnassa, kutsutaan tätä oskilloivaksi täryksi. Oskilloivan täryn tavoitteena on vähentää tärytyksen melu- ja värinähaittoja ympäristöön. Rakenteen yliajokertojen määrän kasvaessa kosketuspinta valssin ja rakenteen välillä pienenee. Kosketuspinnan pienentyessä staattinen kuorma kasvaa. Rakenteen tiivistyessä valssin uppoaminen pienenee. Valssin koko kasvaa jyrän painon noustessa, jolloin voidaan todeta syvyysvaikutuksen olevan suurempi. (Kalliainen ym. 2011, 22–23.)

Tiivistys tulee aloittaa suurella amplitudilla karkearakeisilla materiaaleilla ja viimeistellä alhaisemmalla amplitudilla, jolloin rakenteen pintakin saadaan tiivistettyä (Kalliainen ym. 2011, 22–23.).

2.3 Tiivistämisessä käytetty kalusto

Tyypillisimpiä tiivistyksessä käytettyjä tiivistyslaitteita ovat valssijyrät ja erikokoiset tärylevyt (kuva 2).



Kuva 2. Esimerkit valssijyrästä ja kahdesta erilaisesta tärylevystä (Ramirent)

Tiivistystyön laajuuden takia voidaan jakaa tiivistystyö laitteiden puolesta eri kokoihin. Valssijyrällä saavutetaan tehokas tiivistys laajoille alueille kuten kadun rakennekerroksille. Kuvassa esitetty valssijyrä on 12,6 t painoinen. Valssijyriä on saatavissa eri painoisina 10–25 t väliltä. Tärylevyt ovat huomattavasti pienemmille alueille tehokkaimmillaan. Tärylevyjä on useita eri kokoisia noin 50 kg:sta aina 500 kg:n saakka. Tärylevyt toimivat dynaamisena tiivistysmenetelmänä. Tärylevyn värinästä syntyvä liike-energia siirtyy dynaamisesti maaperään. Koneen staattinen paino korostuu värinässä ja näiden laitteiden käyttökohteet vaihtelevat koon mukaan. Pienimmät tärylevyt toimivat parhaiten ahtaisiin paikkoihin kuten putkikaivantojen alkutäyttöjen tiivistykseen. Suuremmilla levyillä voidaan teh-

dä esimerkiksi pienimpiä pysäköintialueita, jotka vaativat tarkkaavaisuutta tiivistykseen liittyen. (Ramirent)

Maarakenteiden tiivistystyön ohjeistuksia on esitetty InfraRYL:ssä, MaaRYL:ssä sekä RIL ry:n ohjeissa. Alla esitettyssä taulukossa 1 on esitetty esimerkkitaulukko tiivistyksen suorittamisesta eri painoisilla kalustoilla (Suomen Rakennusinsinööri-liitto RIL ry 2000, 63.).

Tiivistyskone tai -tapa		Tiivistys- ajo- kertojen vähim- mäis- määrä	Täytämateriaali Kerrospaksuus [m]			
Nimitys	Massa kN tai staattisen viiva- massan suu- rus kN/m		Louhe, karkea murske, kivet	Hiekka, sora, so- mero ja hieno hiekkä	Hiekka- moreeni, sora- moreeni	Siltti, kulva- kuori ja kova savi, siltti- moreeni
Käsijuntta	0,15 kN	3 ¹⁾	-	0,15	0,10	0,10
Konejuntta	0,80 kN	3 ¹⁾	-	0,30	0,25	0,20
Täryjuntta	0,50 kN	3 ¹⁾	-	0,30	0,25	0,20
Tärylevy	0,50 kN	4 ¹⁾	-	0,15	-	-
	1,00 kN	4	-	0,20	0,10	-
	4,00 kN	4	0,40	0,35	0,25	0,15
Pienjyrät	5...12 kN	6	0,40	0,30	0,20	-
Traktorivetoinen täryjyrä	30 kN	6	0,70	0,40	0,30	0,20
	50 kN	6	1,00	0,55	0,45	0,30
	80 kN	6	1,20	0,60	0,50	0,35
Telaketjutractori	100 kN	6	-	0,25	0,20	0,20
Värähtelevä 2-valssijyrä	5 kN/m	6	-	0,15	0,10	-
	20 kN/m	6	-	0,30	0,25	0,15
	30 kN/m	6	-	0,45	0,35	0,25
Staattinen 3-valssijyrä	50 kN/m	6	-	0,25	0,20	0,20
Kumipyöräjyrä	150 kN	6	-	0,20	0,20	0,20
	250 kN	6	-	0,30	0,25	0,25

Taulukko 1. Tiivistysohje (Suomen Rakennusinsinööri-liitto RIL ry 2000, 63)

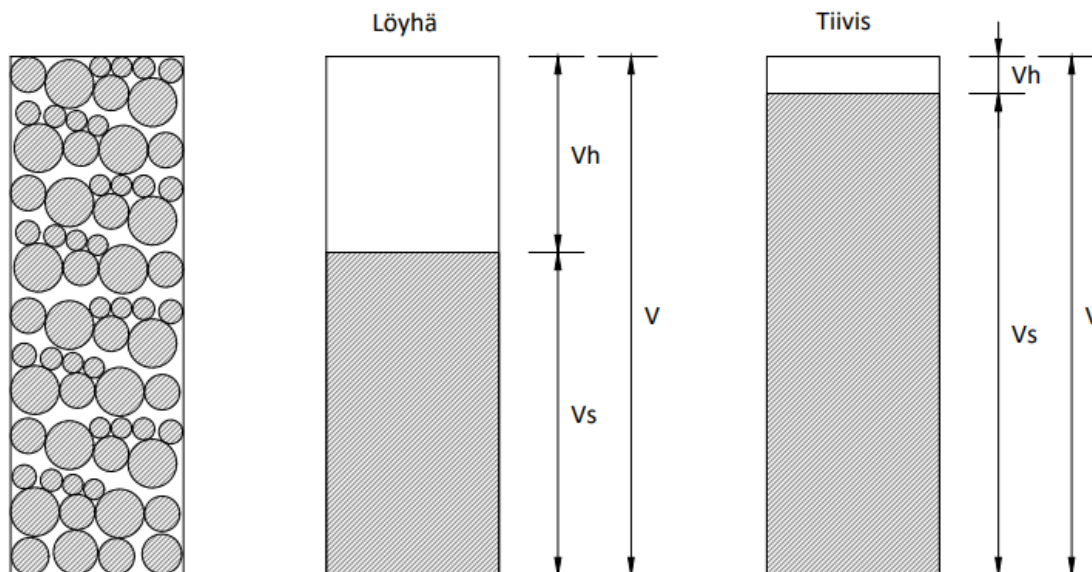
3 Maarakenteet

3.1 Huokostila

Materiaali koostuu ilmasta, vedestä ja kiviaineksesta. Näiden suhde määrittää materiaalin tiiviuden. Kun kiviaineksen suhde veteen ja ilmaan on suuri kokonaistilavuudessa, saadaan aikaan tiiviimpi rakenne. Tiiviystä puhuttaessa siihen yhdistetään usein alla mainitut käsitteet: (Kalliainen ym. 2011, 13.)

- tiheys ρ
- huokoisuus n
- huokosluku e
- suhteellinen tiiviys D_r
- tiiviysaste D

Jääskeläinen (2011, 48) on todennut, että huokostilavuus on erittäin keskeisessä roolissa maa aineksen tiivyyttä tutkiessa. Huokostila on maa-aineksessa oleva vedellä ja ilmalla täyttynyt osa rakenteessa. Alla olevassa kuviossa 2 pyritään kuvaamaan huokostilavuus kahdella erilaisella tavalla.



Kuvio 2. Huokoisuus havainnollistettuna (mukailtu Jääskeläinen 2011, 48)

Kuviossa 2 on havainnollistettu huokostilan määrä ensin löyhässä rakenteessa ja viimeisenä tiiviissä tilassa tiivistyksen jälkeen. Tiiviissä tilassa kiviainesta on pakkautunut tilavuudeltaan samankokoiseen tilaan enemmän kuin löyhässä. Laskemalla huokostilavuus

kokonaistilavuuden suhteen saadaan laskettua huokoisuus prosentteina. Alla on esitetty kaava 1, jolla huokoisuus n lasketaan. (Jääskeläinen 2011, 48.)

$$n = \frac{V_h}{V} \quad (1)$$

missä, n = Huokoisuus
 V_h = Huokostilavuus
 V = Kokonaistilavuus

Huokoisuus ei aina ole kaikkiin tilanteisiin sopivin laskentamenetelmä. Usein tulee tarkastaa huokosluku. Huokosluku saadaan laskettua jakamalla huokostilavuus kivirakeiden tilavuudella. Alla on esitetty kaava 2, jolla lasketaan huokosluku e (Jääskeläinen 2011, 49.)

$$e = \frac{V_h}{V_k} \quad (2)$$

missä, e = Huokosluku
 V_h = Huokostilavuus
 V_k = Kivirakeiden tilavuus

Huokoisuudella ja huokosluvulla on yhteys, joka saadaan huokoisuuden kaavasta. Kun osoittaja ja nimittäjä jaetaan kivirakeiden tilavuudella V_k , saadaan alla esitetty kaava 3. (Jääskeläinen 2011, 49.)

$$n = e / (1 + e) \quad (3)$$

3.2 Tiiviystila

Kolisoja (1996, 25.) toteaa tiiviystilan olevan jännitystilan lisäksi toinen merkittävä maalajin muodonmuutosmoduuliin vaikuttava tekijä. Tiiviystila kertoo, kuinka paljon kiviainesta on tiettyä tilavuusyksikköä kohti. Materiaalia tutkittaessa partikkelitasolla havaitaan, että mitä vähemmän partikkeli pystyy liikkumaan rakenteessa ja mitä enemmän raekosketuksia sillä on muihin rakeisiin, sitä tiiviimpi on raerunko. Kaikkien rakeiden ollessa estyneitä liikkumaan rakenteessa on partikkelisysteemin kokonaisjäykkyys korkea tiivistymisen myötä. Raerungon ollessa hyvin tiiviissä, ovat rakeet lähempänä toisiaan ja kuormitus osuu suuremmalle määrälle rakeita kuin löyhässä tilassa olevalle raerungolle. Tämä tarkoittaa sitä,

että rakeet eivät liiku yhtä helposti tiiviissä raerungossa eivätkä aiheuta muodonmuutoksia rakenteeseen.

Maalajien tiivydelle on aina olemassa minimi- ja maksimiarvot. Maalajin tiivys on luonnossa jossain näiden arvojen välissä. Luonnontilaisesta maasta pyritään selvittämään mahdollisimman tarkasti nykyinen tila, jotta saataisiin parempi tieto maalajin lujuusominaisuuksista. Maalajien ominaisuuksia tutkitaan erilaisin pohjatutkimuksin, joiden yksi päämäärä on selvittää maalajin vallitseva tila. Ääriarvojen välissä olevaa arvoa kutsutaan suhteelliseksi tiivyydeksi ja sen laskentakaava on esitetty kaavassa 4. (Jääskeläinen 2011, 52.)

$$Dr = \frac{e_{max} - e_L}{e_{max} - e_{min}} \quad (4)$$

missä, e_{max} = huokosluvun maksimi

e_{min} = huokosluvun minimi

e_L = huokosluvun arvo luonnossa

Tiheys määritetään yleensä kuivasta materiaalista. Tällöin tiheydestä käytetään nimitystä kuivairtotiheys (t/m^3) tai kuivatilavuuspaino (kN/m^3). Puhuttaessa huokosettomasta maa- materiaalista kutsutaan tiheyttä kiintotiheydeksi. Yksinään kuivairtotiheys ilmaisee heikosti tiivistilaa. Se jättää huomiotta kiviaineksen raekokojakauman, jolla on huomattavasti vaikutusta tietyllä kuormituksella saatuun kuivairtotiheyteen. Tällöin kiintotiheys materiaalissa vaihtelee. (Kalliainen ym. 2011, 13.)

Suhteellisen tiivyyden arvo vaihtelee 0–100 % välillä. Materiaalin tiivys on korkeimmillaan, kun $e_L = e_{max}$ ja alhaimmillaan, kun $e_L = e_{min}$. Suhteellisen tiivyyden kaava voidaan vielä jatkojalostaa kaavaksi 5, jolloin saadaan laskennasta nopeampaa. (Jääskeläinen 2011, 52.)

$$Dr = \frac{\frac{1}{\gamma_{d_{min}}} - \frac{1}{\gamma_{d_L}}}{\frac{1}{\gamma_{d_{min}}} - \frac{1}{\gamma_{d_{max}}}} \quad (5)$$

missä, $\gamma_{d_{min}}$ = γ_d , materiaali löyhimmillään

$\gamma_{d_{max}}$ = γ_d , materiaali tiiveimmillään

γ_{d_L} = γ_d , materiaali luonnontilassa

Suhteellisen tiivyyden arviointiin on tehty luokittelu, jonka mukaan maamateriaali jaotellaan tiivytensä mukaisesti. Maamateriaalit jaotellaan kolmeen luokkaan löyhä (0–33 %), keskitiivis (33–67 %) ja tiivis (67–100 %), mutta materiaalin tiivysominaisuuksien vaihdellessa

runsaasti materiaalin reuna-alueilla on luokkia todellisuudessa viisi. Alla on listattuna luokat ja niiden prosenttiosuudet taulukossa 2. (Jääskeläinen 2011, 52.)

Hyvin löyhä	0–15 %
Löyhä	15–35 %
Keskitiivis	35–65 %
Tiivis	65–85 %
Hyvin tiivis	85–100 %

Taulukko 2. Suhteellisen tiiviyden tarkempi luokittelu (Jääskeläinen 2011, 52)

Työmailla suoritettavassa laadunvalvonnassa on käytössä tunnusluku tiiviysaste. Tiiviysaste lasketaan työmaalla saadun materiaalin kuivatilavuuspainon suhteesta kuivatilavuuspainon maksimiarvoon laboratorio-olosuhteissa. Alla esitettyssä kaavassa 6 on esitetty tiiviysasteen laskenta. (Jääskeläinen 2011, 53.)

$$Tiiviysaste = \frac{\gamma_{dL}}{\gamma_{dmax}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Laboratoriossa kuivatilavuuspainon maksimi saadaan selvitettyä alla esitettyssä kuvassa 3 olevalla Proctor-kokeella.



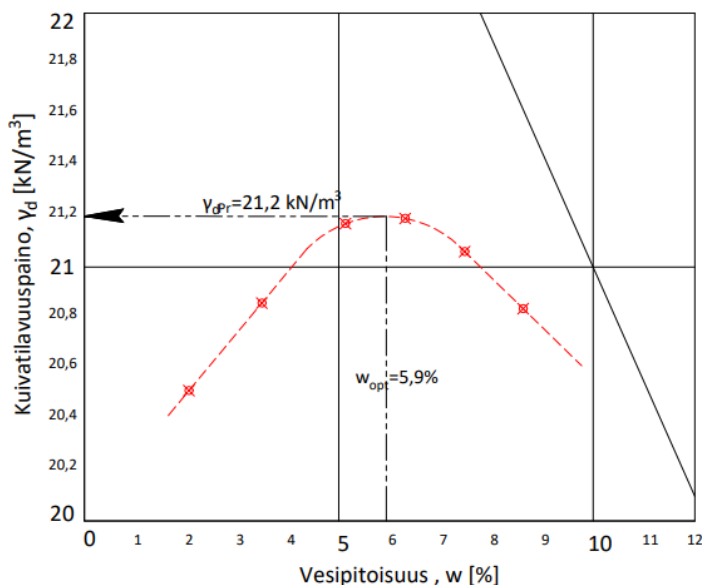
Kuva 3. Automaattinen Proctor-sulloin (Sahlman 2013, 17.)

Proctor- kokeen jälkeen näyte punnitaan ja osa näytteestä otetaan vesipitoisuuden määrittämiseen. Näytteestä saadaan laskettua alla olevien kaavojen 7 ja 8 avulla materiaalin kuivatilavuuspainon maksimi ja sitä vastaava optimivesipitoisuus laboratorio-olosuhteissa. (Jääskeläinen 2011, 53–55.)

$$Kuivapaino = \frac{Kostean\ näytteen\ paino}{1 + \frac{w\%}{100}} \quad (7)$$

$$Kuivatilavuuspaino = \frac{Kuivapaino}{Sylinterin\ tilavuus} \quad (8)$$

Kuivatilavuuspainon maksimi γ_{dmax} määritetään kuvaajasta vesipitoisuuden huippukohdasta. Tutkittujen näytteiden tulokset laitetaan koordinaatistoon, jossa x-akselilla on vesipitoisuus ja y-akselilla on kuivatilavuuspaino γ_d . Kuivatilavuuspainon maksimi saadaan alaspäin osoittavan kuvaajan huippukohdasta. Korkeimman kohdan vastaava vesipitoisuus kertoo kiviaineksen optimikosteuden. Kuviossa 3 on esitetty esimerkki Proctor-kokeen tulosten muodostamasta kuvaajasta. (Jääskeläinen 2011, 53–55.)



Kuvio 3. Kuvaaja Proctor-kokeen arvoista hiekka näytteellä (mukailtu Jääskeläinen 2011, 53–55.)

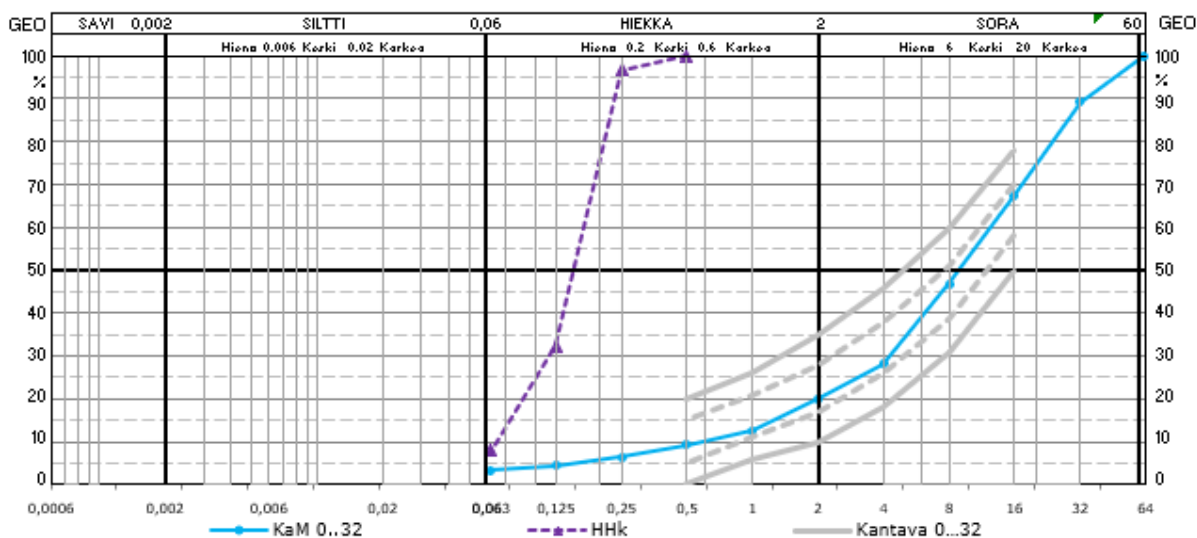
Proctor-kokeesta saaduista tuloksista lasketaan rakennekohtainen tiivysastevaatimus maarakenteelle. Tiivysastevaatimus on keskimäärin jakavalla kerroksella 95 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos 92 % (Rakennustieto 2022a). Työmaalla suoritettuja in-situ-tutkimuksia verrataan InfraRYL:ssä määritettyihin tiivysastevaatimuksiin. Tiivysasteen in-situ-mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi vesivolymetri sekä säteilymittaukset kuten Troxler tilavuuspainon mittauslaite. Tietoa kyseisistä menetelmistä voi löytää Liikenneviraston (nyk. Väyläviraston) *julkaisusta Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 10/2011 Radan eristys- ja välikerrosten tiivys- ja kantavuusvaatimuksia*.

Materiaalin ominaisuuksista tiivistymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat raekokojakauma, vesipitoisuus ja raemuoto. Raekokojakauma esitetään yleisesti rakeisuuskäyränä. Läpäisyprosentteista saadaan laskettua tasaisuusluku $C_u = d_{60}/d_{10}$, joka kuvaa raekokosuhdetta maanäytteessä. Laskenta tasaisuusluvulle suoritetaan seulasarjalta saaduista läpäisyprosenttien 60 ja 10 kohdalta. Seuraavat ehdot esittävät, kuinka tasaisuuslukua tulkitaan. Taulukossa 3 on esitetty raekokosuhteita vastaavat nimitykset. (Kalliainen ym. 2011, 20.)

Maalajin määrittäminen	Raekokosuhte $C_u = d_{60}/d_{10}$
Tasarakeinen	<5
Sekarakeinen	5-15
Suhteistunut	>15

Taulukko 3. Raekokosuhteita vastaavat nimitykset (Kalliainen ym. 2011, 20)

Raekokojakauman eli toisin sanoen tasaisuusluvun ollessa pienempi kuin 5 tulee rakeisuuskäyrästä jyrkkä ja rakeet ovat lähes samansuuruisia. Tasaisuusluvun kasvaessa käyrä loivenee, jolloin näytteessä rakeiden kokoero kasvaa. Kuvio 4 on havainnollistettu tasarakeisuutta hienon hiekan sekä sekarakeisen kantavan kerroksen kalliomurskeen avulla. (Kalliainen ym. 2011, 20.)



Kuvio 4. Tasarakeinen hieno hiekka ja sekarakeinen KaM 0...32

Materiaalin ollessa tasarakeista sen tiivistymisominaisuudet ovat heikoimmillaan. Rakeet ovat hyvin samansuuruisia, jolloin rakeiden väliin jää tyhjää tilaa. Materiaali ei myöskään voi saavuttaa niin korkeaa kuivatilavuuspainon maksimia tai toisin sanoen kuivairtitiheyttä. Sekarakeisissa materiaaleissa on paljon erikokoisia rakeita eikä rakenteeseen jää niin paljon tyhjätiloja. Pienemmät rakeet täyttävät tyhjät tilat, jolloin rakenne saa paljon enemmän raekosketuksia. Tyypillisillä suomalaisilla kivimineraaleilla karkearakeisen soran ja murskemateriaalien kiintotiheys voi maksimissaan olla 2,2 t/m³. Hiekoilla puolestaan kuivairtitiheys on maksimissaan 2,0 t/m³. (Kalliainen ym. 2011, 20.)

Kiviaineksille voi tapahtua lajittumista. Lajittuminen tarkoittaa kiviaineksilla erikokoisten rakeiden erottumista toisistaan. Lajittumista voi tapahtua useissa eri vaiheissa ennen kiviaineksen siirtymistä rakenteeseen. Lajittuminen voi tapahtua maanotto paikalla kiviaineksen käsittelyssä, kuormauksessa, tiivistystyön eri vaiheissa tai työmaalla kuormaa purkessa. Pystysuuntaisella lajittumisella on vaikutusta rakenteen pinnan tiivyyteen, koska pinta jää avoimeksi. (Kalliainen ym. 2011, 20.)

Kalliainen (2011, 22) on todennut raemuodon ja pinnan karheuden vaikuttavan tiivistymiseen. Karkearakeisissa maalajeissa litteät sekä neulamaiset rakeet murtuvat helposti alentaen rakenteen lujuutta. Rakeiden uudelleen asettuminen saa aikaan muodonmuu-

toksia rakenteessa. Rakeiden muodon seurauksena niillä on heikommat lujuus- ja jäykkysominaisuudet sekä maksimi tiheys. Korkeamman lujuuden omaavia maalajeja ovat ne, jotka sisältävät pyöristyneitä ja kuutiomaisia rakeita. Pinnan karkeus rakeissa saa suuremman kitkan rakeiden välille. Kitka estää rakeiden liikkumista paremmin, mikä lujittaa rakennetta. (Kalliainen ym. 2011, 22.)

Kalliomurskeen ominaisuuksiin kuuluu karheat pinnat ja terävät reunat. Tämän seurauksena rakenne jäädessään terävien rakeiden varaan on ajan saatossa altis rakeiden kulumiselle. Rakeiden kulumisen seurauksena rakenne jälkitiivistyy. (Kalliainen ym. 2011, 22.)

3.3 Kantavuus

Kantavuutta on alun perin käytetty geotekniikassa kuvaamaan maapohjan kantokykyä staattista kuormaa vastaan. Toisin sanoen kuinka paljon maarakenne kestää kuormitusta murtumatta ja painumat pysyvät sallituissa rajoissa. (Siika 2006, 28.)

Tie- ja katurakentamisessa kantavuudella kuvataan rakenteen kokonaisjäykkyyttä eli rakenteen kykyä kestää liikennekuorman aiheuttamat muodonmuutokset. Kantavuuteen vaikuttaa rakenteen kokonaisjäykkyys sekä ohuilla kerroksilla pohjamaan ominaisuudet. Kantavuus kertoo koko rakenteen keskimääräisen jäykkyyden eli se ei huomioi yksittäistä rakenneosaa. Kantavuus on ominaisuus, joka kuvaa vain epäsuorasti esimerkiksi materiaalin lujuutta, joka on todettu keskeiseksi tekijäksi maamateriaalin kyvyssä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia siihen kohdistuvan toistuvan kuormituksen alaisena. (Kalliainen ym. 2011, 28.)

Kantavuuden sijaan voitaisiin käyttää termiä kestävyys. Rakenteen kestävyteen vaikuttaa enimmäkseen kuormituskertojen lukumäärä kuin rakenteeseen kohdistuva maksimikuorma vapaissa liikenneolosuhteissa. (Siika 2006, 28.)

Kantavuuden lukuarvo määräytyy palautuvista muodonmuutoksista, vaikka kantavuudella ajatellaan usein kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia. Kantavuus on kuitenkin todettu olevan käyttökelpoinen kuormituskestävyyden mittari luonnonmateriaaleilla tehtyyn tie- ja katurakenteeseen. Kantavuuden eli muodonmuutosmoduulin laskenta perustuu Boussinesqin teorian mukaiseen painuman laskentamalliin, jossa ympyränmuotoiseen kuormituslevyyn kohdistetaan kuorma levyn keskipisteeseen. Kantavuutta voidaan mitata levykuormituslaitteella sekä pudotuspainolaitteella. (Kalliainen ym. 2011, 28.)

4 Levykuormituskoe

Levykuormituslaite on otettu Suomessa käyttöön 1950-luvulla. Se on Suomessa vanhin ja yleisin laadunvarmistusmenetelmä. (Piippo ym. 1990, 22–26.)

Ajan saatossa levykuormituskoe on tehty eri tavoin. Levykuormituskokeen suosio perustuu suureen määrään kokemusperäistä tietoa. Levykuormituskoe on staattinen In-situ-mittausmenetelmä eli koe tehdään paikan päällä rakenteesta. Kokeella selvitetään rakenteen muodonmuutosominaisuudet sekä tiiviysominaisuudet. Kokeen suoritustapa vaihtelee kuormituslevyjen koon ja tehtävien staattisten kuormitussarjojen suhteen sekä yleisesti kokeessa käytettävien laitteiden suhteen. (Kolisoja 1993, 106–107.) Tässä opinnäytetyössä tutkitaan halkaisijaltaan 300 mm levyllä suoritettavaa koemenetelmää.

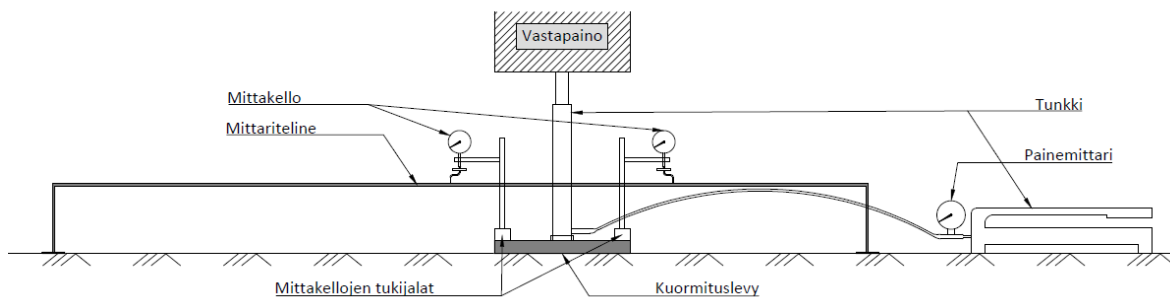
Hydraulisen tunkin kalibrointi tulisi suorittaa säännöllisesti. Samoin tulisi toimia mittakellojen kanssa. Teräslevylle ei ole asetettu paksuus vaatimusta ja on mahdollista, että kaikilla Suomessa levyn paksuus ei ole sama. Mittaritelineen jalkojen etäisyyden tulee olla vähintään 50 cm teräslevyn reunasta. (TIEL 2220003 (Vanhentunut) 1994, 162–163.) Virallista ohjeistusta laitteiston ylläpidosta ei ole.

4.1 Toimintaperiaate

Levykuormituskoe menetely aloitetaan asettamalla ympyrän muotoinen halkaisijaltaan 300 mm kokoinen teräslevy vaakasuoralle alustalle. Levyn keskelle asetetaan hydraulinen tunkki levyn ja vastapainon väliin. Teräslevylle asetetaan kolme mittakelloa tasaisesti 120° välein. Tällöin painumat voidaan laskea keskiarvona, jolloin oletetaan, että painuma tapahtuisi levyn keskelle. Mittakellot asetetaan pystysuoraan. Levyn ympärille asennetaan mittariteline, jota vasten mittakellot mittaavat. (Väylävirasto 2021, 55.)

Asennuksen jälkeen suoritetaan 3,5 kN esikuormitus. Esikuormituksen tavoitteena on tiivistää tasauserros ja rakenteen pinta. (Väylävirasto 2021, 55.)

Esikuormituksen jälkeen mittakellot nollataan. Levyä aletaan kuormittamaan kuormitusportaittain. Kuormitusportaita on yhteensä 6 kpl ja kuormitusta nostetaan 10 kN välein aina 60 kN asti. Kuormitusportaalla odotetaan niin kauan, että painumanopeus on 0,01 mm/min. Tämän jälkeen kirjataan mittakellojen painuma-arvot muistiin. Kun viimeisen kuormitusportaan tulos on kirjattu, kuormitus lasketaan nolnaan hitaasti ja merkataan painuman arvo muistiin. Kuormitus toistetaan uudelleen samalla tavalla. Koetta tehdessä on tarkkailtava maan murtumista. Maan murtumisen voi havaita, jos painumanopeus on erittäin hidaskäyttö tai se ei vähene. (Väylävirasto 2021, 55.). Alla olevassa kuviossa 5 on havainnollistettu levykuormituslaite.



Kuvio 5. Levykuormituslaitteen havainnekuva (mukailtu Jääskeläinen 2011, 138)



Rakenteen tiivistäminen ja laadunvarmistus on suoritettava osissa. Syvemmilläkin olevat rakenteet painuvat, mutta painumien määrä suhteessa pintakerrokseen on todella pientä. (Kalliainen ym. 2011, 30.)

Tutkimuksessa käytettiin Ramboll Finland Oy:n levykuormituslaitteistoa laadunvalvontakokeiden suorittamiseen. Kuvassa 4 on esitetty tutkimuksessa käytetty levykuormituslaite valmiudessa.



Kuva 4. Valmiiksi asennettu levykuormituslaite tutkimuspisteellä 9

Alle on taulukoitu taulukkoon 4 tarkemmat tiedot levykuormituslaitteeseen sisältyvistä tarvikkeista, joita tässä tutkimuksessa käytettiin.

	<p>Teräslevy</p> <p>Mitat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halkaisija Ø 300 mm • Paksuus 30 mm <p>Levyn reunoille on laitettu merkit, johon mittakellojen jalat tulee sijoittaa. Levyyn on asennettu myös kantokahva levyn siirtelyn helpottamiseksi</p>
	<p>Lisäpalojen mitat ylhäältä alas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 28 mm • 32 mm • 45 mm • 80 mm <p>Tunkin korkeus ei usein riitä, jolloin lisäpaloilla saadaan säädettyä korkeutta tarpeen vaatiessa.</p>
	<p>Enerpac-hydraulinen tunkki</p>
	<p>Manometri (kiinni tunkissa)</p> <p>Ilmoittaa lukemat bar ja kN</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0–700 bar • 0–100 kN <p>Mittaustarkkuus on 1 kN</p>

	<p>Mittakello ja teräslevyyn kiinnitettävä tukijalka</p> <p>Mittakellot kiinnitetään kuvassa näkyvään kiinnitysjal- kaan, jotka ohjaavat kellon oikealle paikalle mittariteli- neessä, joista mittakello mittaa painumaa otetaan.</p> <p>Kelloina käytettiin analogiasia kelloja</p>
	<p>Mittariteline</p> <p>Mitat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pitkät sivut n. 1,6 m • Välikappale n. 1,0 m

Taulukko 4. Tarkemmat tiedot levykuormituslaitteen varusteista

4.2 Tuloksen laskenta

Kolmella kellolla tehtäessä kelloista lasketaan tulosten keskiarvot, joka kuvaa painumaa levyn keskipisteessä. Yhdellä kellolla tehdessä kello sijoitetaan keskelle levyä ja arvo otetaan suoraa yhdestä kellosta. Kaavassa 9 on esitetty painuman laskenta levykuormitus-
kokeella. (Väylävirasto 2021, 55.)

$$s = k(1 - \nu^2) \cdot \frac{\Delta\sigma \cdot r}{E} \quad (9)$$

missä, E = muodonmuutosmoduuli (MPa) Δs

k = kerroin, joka vaihtelee riippuen oletuksesta, onko levy jäykkä ($\pi/2$) vai taipuisa (2)

ν = Poissonin luku

$\Delta\sigma$ = Kuormituksen aiheuttama jännitys levyyn välillä $0,3 \sigma - 0,7 \sigma$ (MPa)

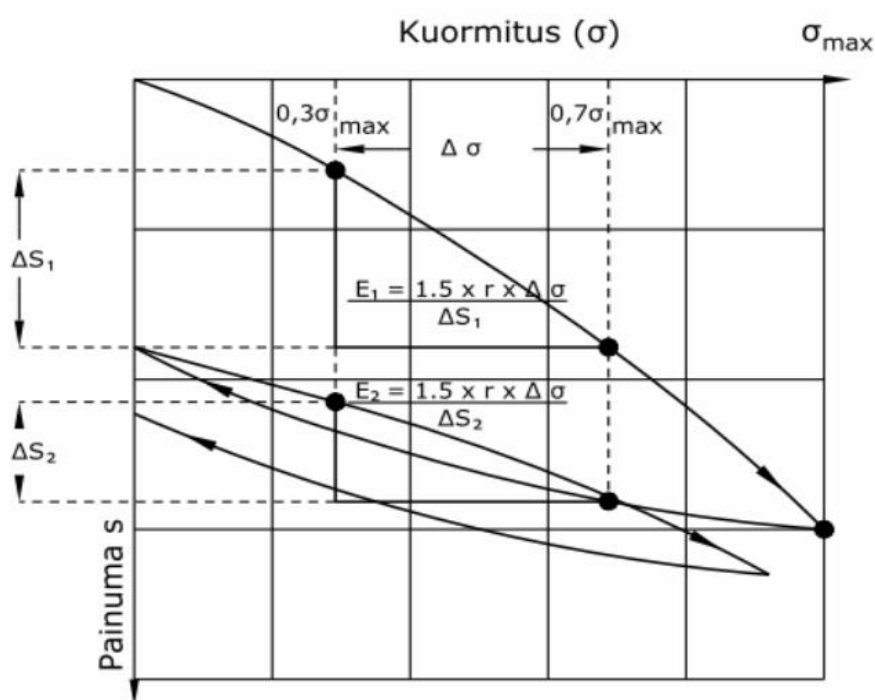
r = Kuormituslevyn säde (m)

Δs = Levyn painuma välillä $0,3 s - 0,7 s$ (m)

Kerroin k on nykyään vakio 1,5. Eri Poissonin luvun arvoilla vakio k :n vaihteluväli olisi 1,18–2,00. Kaava 10 on muutettu muotoon, josta voidaan laskea E-moduuli. E-moduuli lasketaan molemmille kuormituskierröksille. (Piippo ym. 1990, 8–10.)

$$E = 1.5 \cdot \frac{\Delta\sigma \cdot r}{\Delta s} \quad (10)$$

InfraRYL (Rakennustieto 2022a) mukaan on esitetty kuviossa 6 levykuormituskokeen muodonmuutosmoduulin määrittäminen. MaaRYL:n ohjeistus pohjautuu InfraRYL:n ohjeeseen.



Kuvio 6. Muodonmuutosmoduulien E_1 ja E_2 määrittäminen (Rakennustieto 2022a, liite 2; Rakennustieto 2022b, liite 2.)

Laskentatapa johtuu siitä, että levykuormituskokeen alkuvaiheessa mittaustapahtuma voi olla altis erilaisille häiriöille ja loppuvaiheessa saattaa rakenteen kimmoisuus ylittyä (Piippo ym. 1990, 8–10.). Laskentatavalla on merkittävä vaikutus muodonmuutosmoduulin suuruuteen (Kalliainen ym. 2011, 30.).

4.3 InfraRYL ja MaaRYL

InfraRYL:n ja MaaRYL:n välillä ei nykyään ole eroavaisuuksia levykuormituskokeen suhteen. Molemmat ohjeistukset viittaavat levykuormituskokeeseen ja antavat samat ehdot

kokeen tekemiselle. Virallista kokeen suoritustapaa ei ole kuitenkaan määritelty. Vaikka levykuormituskokeen ja pudotuspainolaitteen kuormitustavat eroavat toisistaan, ne luokitellaan molemmissa tietopankeissa samaan kategoriaan. Tuloksista tulee verrata muodonmuutosmoduulin E_2 kantavuusarvoa ja/tai tiiviyssuhdetta E_2/E_1 , joita verrataan tietopankeissa annettuihin vaatimuksiin. Tiiviyssuhteesta voidaan käyttää myös nimitystä kantavuussuhde. (Rakennustieto 2022a, liite 2; Rakennustieto 2022b, liite 2.)

5 Loadman-pudotuspainolaite

5.1 Toimintaperiaate

Kyseiset tutkimukset suoritettiin Ramboll Finland Oy:n laitteilla. Laadunvalvonnassa yrityksellä on käytössä levykuormituskokeen lisäksi Loadman II-pudotuspainolaite. Laitetta käytettiin vertailutuloksien saamiseksi. Tällä tavoin saatiin vertailtua kahta eri menetelmää ja havaittua rakenteessa mahdolliset eroavaisuudet. Pudotuspainolaite mahdollisti nopean tutkimisen pohjamaasta, jotta voitiin löytää mahdollisimman tasalaatuinen alue levykuormituskokeiden suorittamiseen

Loadman-pudotuspainolaite on dynaaminen rakenteen kantavuuden mittausmenetelmä (Piippo ym. 1990, 16). Loadman II-pudotuspainolaite soveltuu rakennettavan kerroksen kantavuuden määrittämiseen. Laitteen kevyen olemuksensa puolesta ei syvyysvaikutus yllä kuin korkeimmillaan 1,5–2 kertaa laitteen pohjan halkaisijan syvyydelle. Ilman lisälevyä laitteen pohjan halkaisija on noin 132 mm. Jos käytetään halkaisijaltaan Ø 300 mm lisälevyä voi kuormitusimpulssin aiheuttama syvyysvaikutus olla 400–600 mm rakenteen pinnasta. Raskaammilla pudotuspainolaitteilla kuten KUAB:lla ja Heavy Loadman-laitteella voidaan mitata rakenteiden kokonaiskantavuutta. (AI-Engineering 2015, 1.) Opinnäytetyössä tarkastellaan vain Loadman II-laitetta, joka on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Loadman II-laitteisto ja lisälevy.

Loadman II-laitteisto on 118 cm korkea alumiininen putki, jonka sisällä on vapaasti liikkuva 10 kg painava teräspaino. Teräspainon alapäässä on kumivaimennin. Laitteen yläpäässä on laitteiston mittausyksikkö. Putken sisässä on kumivaimentimella varustettu välilaippa, johon paino kiinnittyy ennen painon pudotusta. Pudotuksen jälkeen kantokahvoista nos-

tamalla paino saadaan kulkemaan takaisin laitteen yläpäähän seuraavaa pudotusta varten. (AI-Engineering 2015, 1–2.)

5.2 Tuloksen laskenta

Tulos lasketaan laitteessa olevan kiihtyvyyssanturin avulla. Kiihtyvyyssanturi mittaa pudotuspainon aiheuttaman kuormituksen. Kiihtyvyyssanturin antama kiihtyvyys integroidaan, jolloin tulokseksi saadaan painuma. Laite antaa tulokseksi maksimitaipuman, materiaalin muodonmuutosmoduulin E sekä tiiviyssuhteen. Tiiviyssuhde lasketaan jakamalla viimeisen pudotuksen tulos ensimmäisen pudotuksen tuloksella. AI-Engineering toteaa verkkosivuillaan tiiviyssuhteen tuloksen olevan verrattavissa levykuormituslaitteen $E2/E1$ -tiiviyssuhteeseen. (AI-Engineering 2015)

6 Tutkimus

6.1 Tutkimuksen kuvaus

Koemenetelmät valikoituivat tutkimalla Suomen, Ruotsin, Norjan, Tanskan sekä Saksan normeja levykuormituskokeiden suoritusmenetelmistä. Näistä tiedoista saatiin kerättyä toisistaan eroavat koemenetelmät. Ohjeistuksien erovaisuuksien vertailu on esitetty liitteessä 1. Tiettyyn normiin pohjautuvaa koemenetelmää kutsutaan tässä tutkimuksessa kyseisen maan normilla, josta koemenetelmä on muokattu tähän tutkimukseen sopivaksi.

Tutkimustuloksia on lukumäärällisesti vähän, joten tutkimuksessa syntyviä havaintoja voidaan pitää suuntaa antavina. Tarkasteltaessa tuloksia tulee myös huomioida, että mittauspäivien väli on varsin pitkä eikä tutkimusalue ole rajattu vain tutkimuskäyttöön työmaaliikenteen vuoksi. Työmaan aikaista liikennettä ja siihen kohdistuvaa lisätiivistystä on voinut tapahtua mittauspäivien välissä. Lisätiivistyksen määrää ja vaikutusta rakenteen kantavuuteen ei tässä tutkimuksessa pystytty huomioimaan.

6.2 Poikkeavuudet levykuormituskokeiden normeista/standardeista

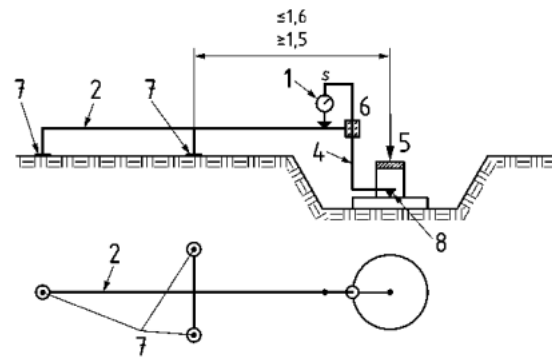
Jokaisesta menetelmästä tullaan käymään läpi poikkeavuudet kokeessa käytettyyn kalustoon tai koemenetelmään. Kaikkien koemenetelmien tuloksen laskenta on suoritettu suomalaisen laskentatavan mukaisesti. Liitteessä 1 on esitetty menetelmien kuvaukset. Seuraavaksi on esitetty menetelmien poikkeavuudet.

Suomalainen menetelmä

Rakenteessa ei käytetty tasaushiekkaa, jotta olosuhteet olisivat kaikilla koe paikoilla samanlaiset (TIEL2220003 (Vanhentunut) 1994, 162–163.).

Saksalainen menetelmä

Teräksisen aluslevyn paksuus on tutkimuksessa 30 mm ja DIN-normissa 20 mm. DIN-normin mukaan käytössä on vain yksi mittakello. Tässä tutkimuksessa tehtiin kolmella mittakellolla. Kokonaisuudessaan laitteisto on erilainen kuin Suomessa käytetty. Kuviossa 7 on esitetty havainnekuva DIN-normin mukaisesta laitteesta osaselityksineen. (DIN-18134 2012, 11–19.)



b) Contact arm with slide bearing; measurement of settlement in the lever ratio 1:1

Key

- | | |
|--|---|
| 1 Dial gauge or displacement transducer | 6 Slide bearing |
| 2 Supporting frame | 7 Support |
| 3 Fulcrum | 8 Stylus |
| 4 Contact arm | 9 Area taken up by reaction load system |
| 5 Load | |
| $s_{M, s}$ Settlement reading on dial gauge or displacement transducer | |
| a For distance see 7.2 | |

Kuvio 7. Esimerkki koejärjestelystä (DIN-18134 2012, 11–19)

DIN-normista poiketen ei myöskään mitattu kuormitusportaalla pidettyä aikaa kuormituksen lisäys- sekä purkamisvaiheessa aikataulun ja resurssien puutteen vuoksi (DIN-18134 2012, 11–19.).

Ruotsalainen menetelmä

Kuormitusportaalla pidettyä aikaa ei mitattu tässä menetelmässä. Ruotsalaisessa menetelmässä kalusto pohjautuu saksalaiseen DIN-normiin, joka on esitetty kuviossa 10.(Trafikverket 2014, 9–13.)

Norjalainen menetelmä

Kuormitusportaalla pidettyä aikaa ei mitattu tässä menetelmässä. Norjalaisesta normista poiketen toiseksi korkein kuormitusporras (35,34 kN) jätettiin välistä. Norjalaisen ohjeen mukaan teräksinen aluslevy voi olla 12 mm paksu. Kuvassa 6 on esitetty Norjassa käytetty laitteisto, joka on hyvin samanlainen kuin Saksassa ja Ruotsissa. (Statens vegvesen 2021, 202–206.)



Kuva 6. Kuorma-auton perässä oleva levykuormituslaite (Statens vegvesen 2021, 205)

Yhteenveto

Suurimmat eroavaisuudet koemenetelmissä ovat esikuormituksen suuruus, kuormitusportaiden määrä ja yksittäisen kuormitusportaan noston suuruus sekä kuormitusportaiden purkaminen. Sekä suomalaiseen koemenetelmään verrattuna muissa koemenetelmissä kuormitusportaiden nosto pienenee kuormituskierroksen loppua kohti. Ohjeistukset olivat muilla mailla tarkempia kuin suomalainen ohjeistus. Tarkemmin koemenetelmiä voi vertailla liitteestä 1.

6.3 Vastapaino

Levykuormituskokeet suoritettiin kahdella erilaisella vastapainolla. Vastapainoiksi valikoituivat 5-akselinen Volvo FMX540 kuorma-auto ja Liebherr 926 Compactia-kaivinkone. Kuorma-auto painoi ilman kuormaa 18 tn ja oli lastattu täyteen kiviainesta kokeita varten.

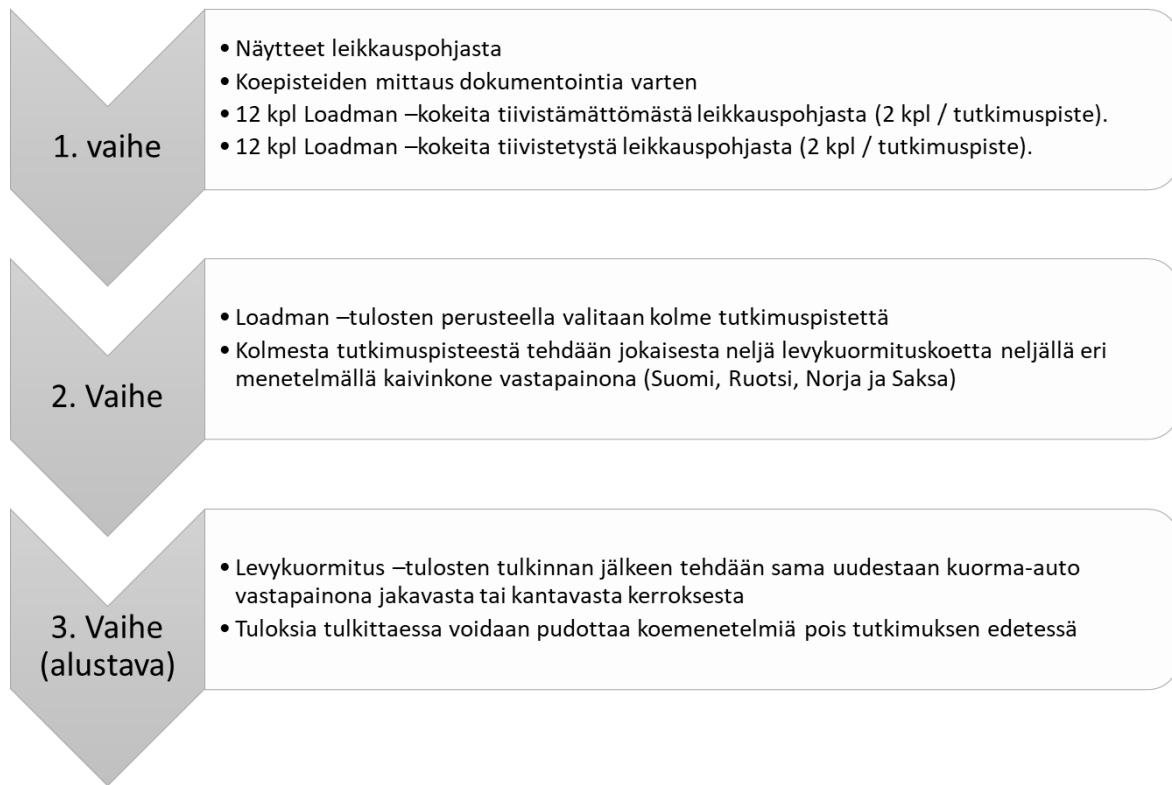
6.4 Tutkimuspaikka ja tutkimussuunnitelma

Kohde sijaitsee Lappeenrannassa valtatie 6 ja 13 liittymän läheisyydessä. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman tasalaatuisella ja kantavalla pohjamaalla oleva rauhallinen työmaa, jotta kokeiden suorittaminen ei häiritsisi työmaan toimintaa ja tutkimukset voitaisiin suorittaa laadukkaasti. Kuviossa 8 on esitetty tutkimuskohteen tarkka sijainti punaisella nelikulmiolla.



Kuvio 8. Tutkimuspaikan sijainti kartalla (Google 2023)

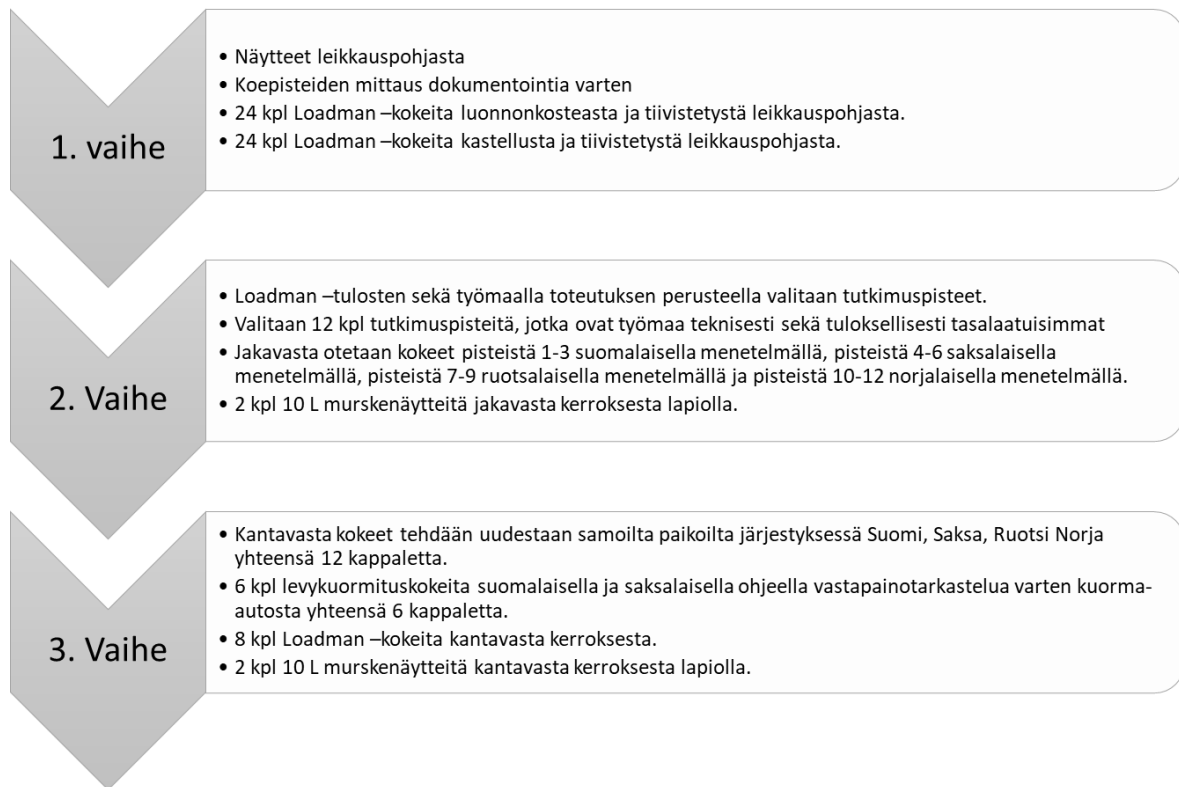
Tutkimuksen suunnittelussa tuli muuttujia ja suunnitelman muuttumisen vaiheet on kuvattu kuvioissa 9 ja 10. Tutkimukset toteutettiin työmaan aikataulun mukaan. Tutkimusohjelmaa muokattiin nopealla aikataululla työmaan tilanteen, aikataulun sekä käytettävissä olevan tutkimusajan mukaan.



Kuvio 9. Alustava tutkimusohjelma

Alustavan tutkimusohjelma mukaan mittauspaikat tuli sijaita lähellä toisiaan. Alustava sijainti oli paaluvälillä 568–598. Tavoitteena on saada tutkimukset tiivistämättömästä leikkauspohjasta ja sen jälkeen kastellusta leikkauspohjasta. Työmaalle saavuttaessa tutkimuksia suorittamaan pohjamaa oli jo tiivistetty eikä pohjamaan tiivistysmäärästä ollut dokumentaatiota.

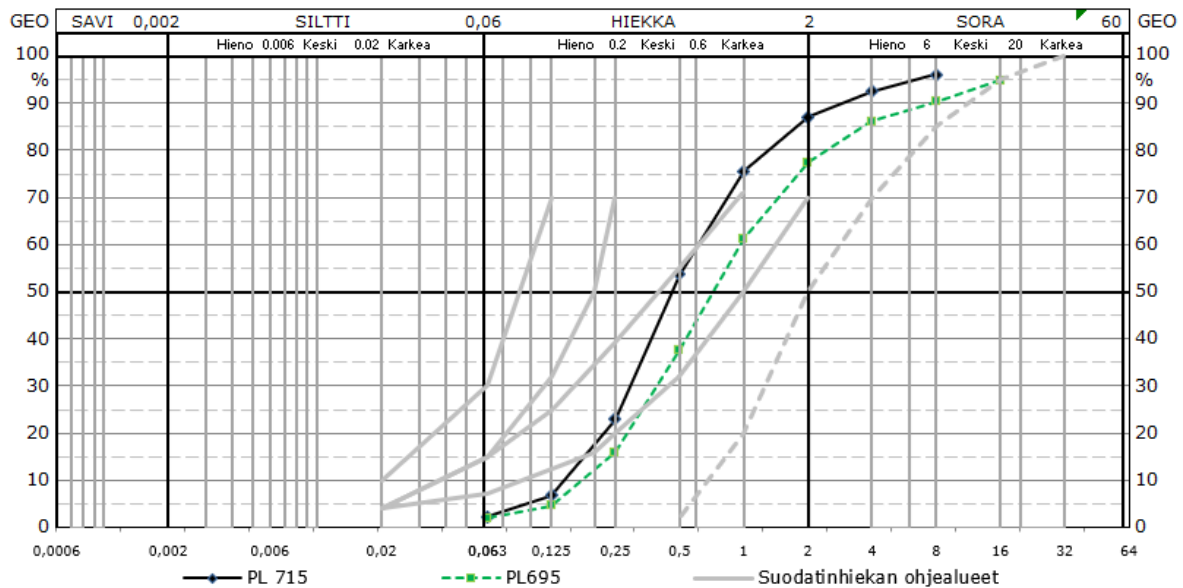
Työmaalla työt olivat siinä vaiheessa, että kyseiseltä paikalta kokeita ei voitu suorittaa. Sijaintia muutettiin lähemmäksi kadun päässä sijaitsevaa käänköpaikkaa, josta saatiin suoritettua kaikki tutkimukset. Alla olevassa kuviossa 10 on esitetty lopullinen suunnitelma mittauksien toteutuksesta.



Kuvio 10. Lopullinen tutkimusohjelma

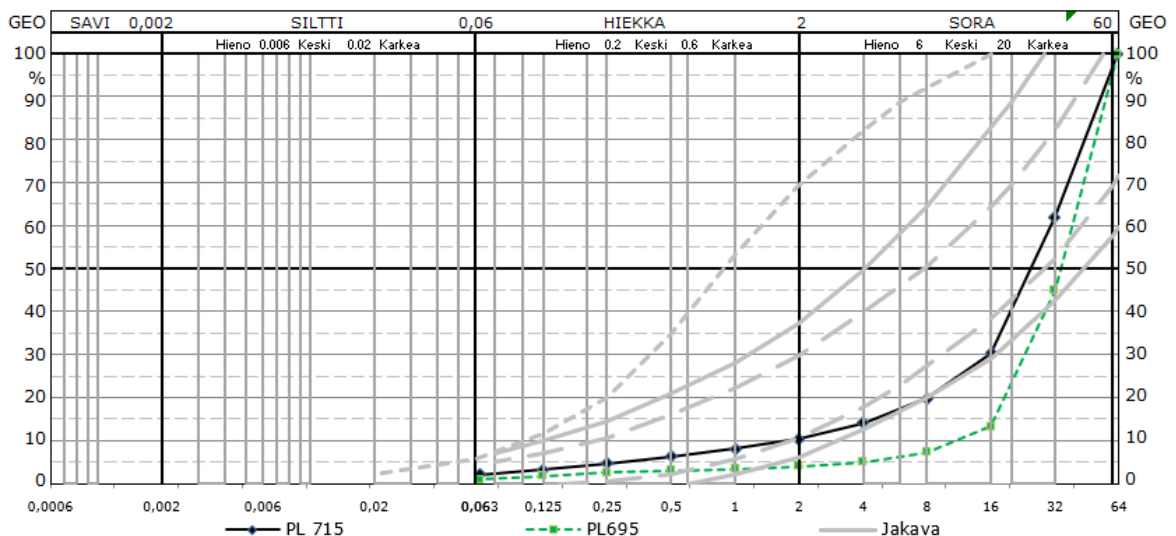
6.5 Maanäytteiden tutkimustulokset

Maanäytteet tutkittiin Ramboll Finland Oy geoteknisessä laboratoriossa. Pohjamaasta otettiin noin 2,5 kg näytteet lapiolla, josta otettiin mahdollisimman edustava noin 400 g näyte tutkittavaksi. Näytteestä selvitettiin vesipitoisuus ja rakeisuus. Rakeisuuden perusteella pohjamaa on alueella routimatonta hiekkaa. Molemmat näytteet otettiin molempien tutkimuspisteryhmien puolesta välistä. Kuviossa 11 on esitetty pohjamaasta saadut rakeisuudet.

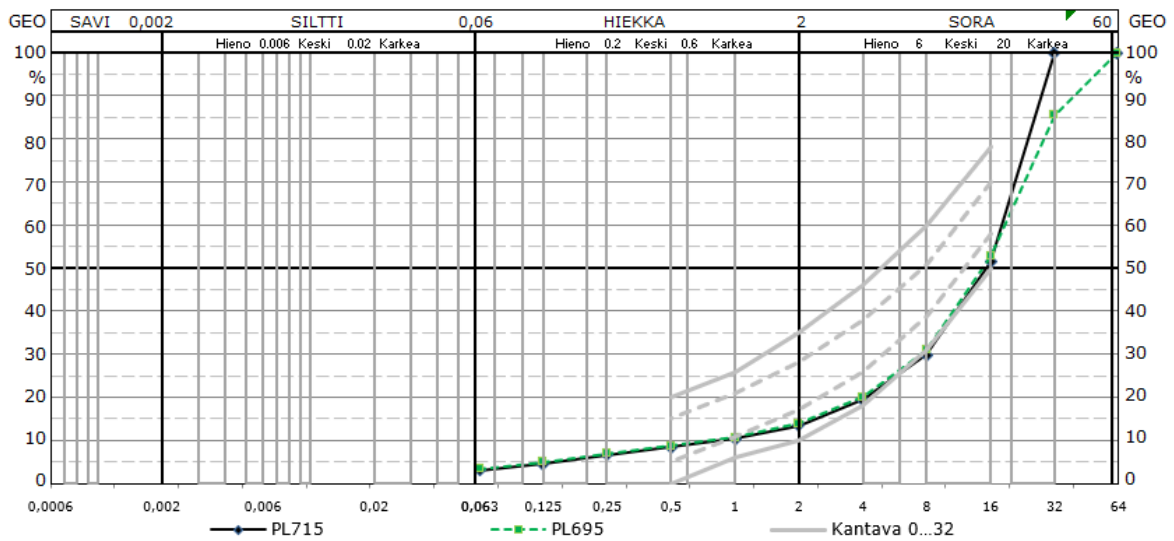


Kuvio 11. Pohjamaasta otettujen näytteiden rakeisuudet ja suodatinkerroksen ohjealueet

Jakavan kerroksen murskeesta otettiin kaksi kappaletta 10 L näytteitä. Näytteet otettiin lapiolla rakenteen reunasta. Näyte sekoitettiin näytteenjakolaatikolla. Näytteenjakolaatikosta saatu näyte punnittiin. Punnituksen jälkeen näytteelle tehtiin pesuseulonta 0,063 mm seulan läpi, jotta saadaan kalliomurskeesta selville hienoaineksen määrä. Seulalle jäänyt kiviaines kuivattiin uunissa. Kuivatuksen jälkeen murskeista selvitetiin rakeisuudet. Alla kuvioissa 12 ja 13 on esitetty jakavan kerroksen (0...56 mm) sekä kantavan (0...32 mm) kerroksen kalliomurskeen rakeisuudet ja ohjekäyrät. Alla olevassa kuviossa 12 on esitetty rakeisuuskuvaajat tutkimuskohteesta sekä ohjearvot.

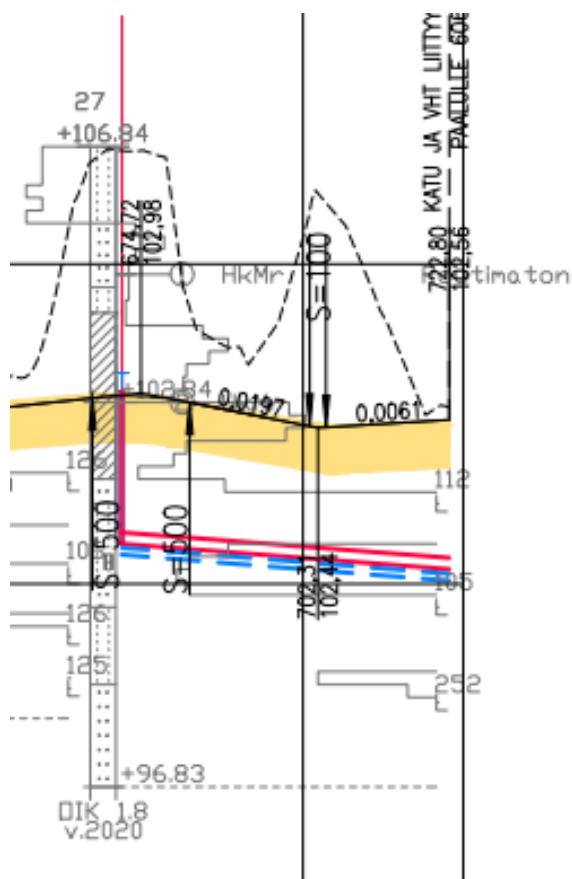


Kuvio 12. Jakavan kerroksen (0...56 mm) murskeen rakeisuudet eri paaluilta



Kuvio 13. Kantavan kerroksen (0...32 mm) murskeen rakeisuus eri paaluilta

Alue sijaitsee harjumuodostumalla ja kairausvastuksien perusteella havaittiin, että maaperä on melko tiivistä ja tasalaatuista. Alla olevassa kuviossa 14 on esitetty ote pituusleikkauksesta, jossa on esitetty alueelta tehty painokairaus.



Kuvio 14. Tutkimusalueen pohjatutkimustiedot leikkauksessa

6.6 Loadman-pudotuspainolaitemittaukset 8.8.2022

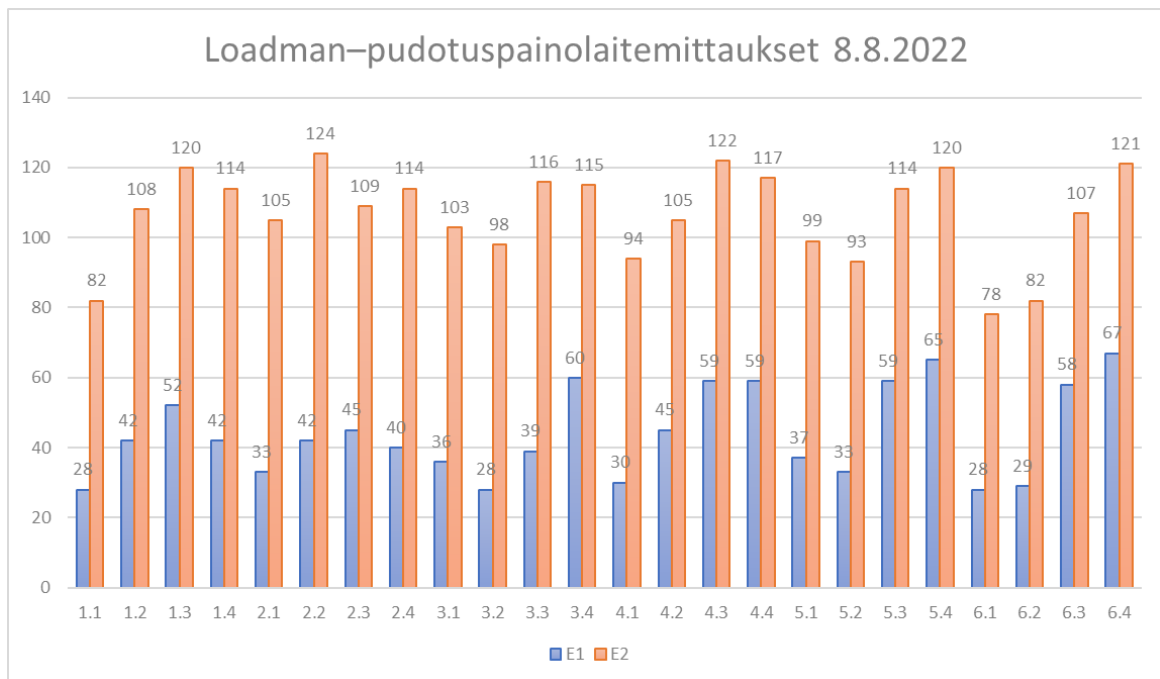
Ensimmäiset Loadman-kokeet käytiin tekemässä aamupäivällä 8.8.2022 klo 8.00–10.30. Lämpötila oli aamulla noin 16 astetta ja puolipilvistä. Vettä ei ollut satanut viimeisen kahden viikon aikana. Mittauksien tavoitteena on löytää mahdollisimman tasalaatuiset pohjamaaolosuhteet, jotta jakavasta otattavien levykuormituskokeiden olosuhteet olisivat mahdollisimman tasalaatuiset.

Tavoitteena oli ottaa kokeet tiivistetystä pohjamaasta. Työmaalla hajosi valssijyrä kesken jyräyksen, joten toinen puoli suunnitelluista mittauspisteistä tiivistettiin pyöreällä pienellä 100 kg tärylevyllä. Kuvassa 7 on esitetty tilanne työmaalla tehdystä tiivistyksestä kastelemattomasta pohjamaasta.



Kuva 7. Tärylevyllä (vasemmalla) ja valssijyrällä (oikealla) tiivistetty pohjamaa

Mittauspisteiden kohdalta ajettiin edestakaisin ylitse kaksi kertaa. Tiivistyskertoja tuli yhteensä 4 kappaletta mittauspistettä kohden. Kuviossa 15 on esitetty saadut tutkimustulokset.

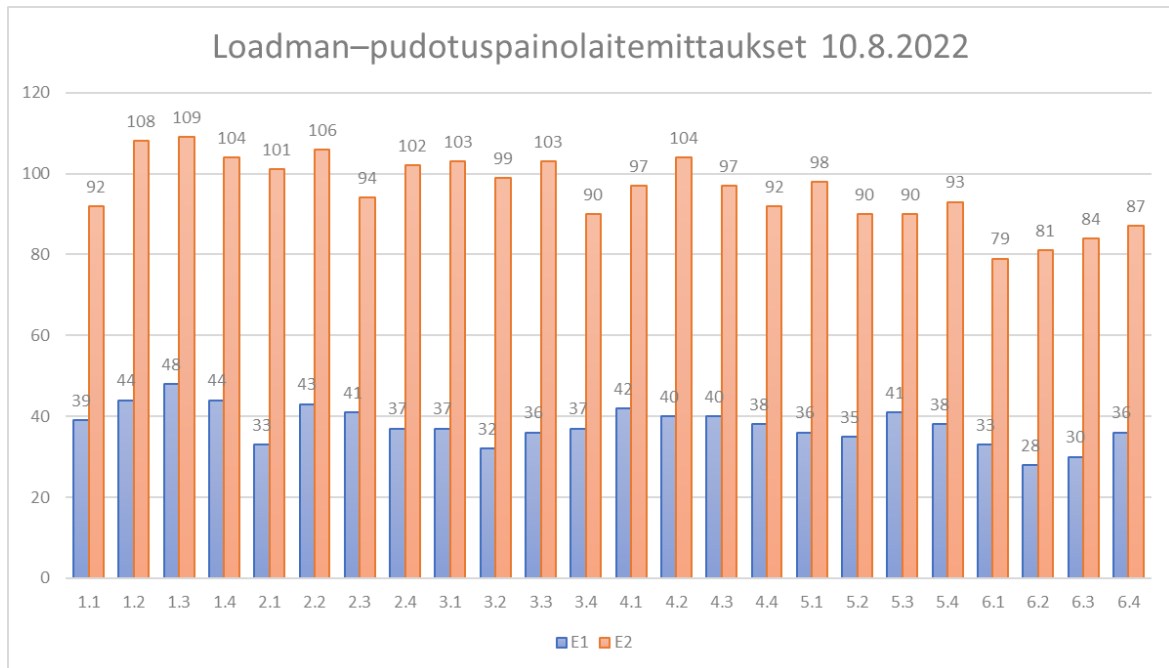


Kuvio 15. Luonnonkosteasta pohjamaasta saadut Loadman–tulokset

Tutkimustuloksissa havaitaan eroavaisuutta pohjamaan kantavuuden suhteen. Tuloksia ei pidetty tarpeeksi luotettavina. Päätettiin toteuttaa uudet mittaukset kastellusta pohjamaasta.

6.7 Loadman–pudotuspainolaitemittaukset 10.8.2022

Toiset Loadman-kokeet suoritettiin 10.8.2022 klo 9.00–13.00. Lämpötila oli aamupäivällä työmaalle saapuessa noin 22 astetta ja aurinko paistoi. Lämpötila nousi kello 13.00 mennessä 25 asteeseen. Vettä ei ollut satanut viimeisen kahden viikon aikana. Työmaalle oli tilattu pohjamaan kastelu, jotta pohjamaasta tehdyt tutkimukset saataisiin tehtyä optimivesipitoisuudessa olevasta pohjamaasta. Kastelu suoritettiin letkusta suihkuttamalla. Optimivesipitoisuutta ei mitattu. Kasteltu ja uudestaan tiivistetty pohjamaa on tulosten perusteella tasalaatuisempi kuin kuivana tiivistetty pohjamaa. Tuloksien pohjalta tehtiin ratkaisu, miten levykuormituskokeet tullaan suorittamaan työmaalla. On mahdollista, että tutkimustulosten jälkeen on tapahtunut työaikaista tiivistymistä. Tuloksia vertailtaessa 8.8.2023 saatuihin tutkimustuloksiin voidaan huomata, että tulokset ovat huomattavasti tasalaatuisemmat. On kuitenkin otettava huomioon, että tutkimukset on suoritettu samoilta paikoilta uudestaan, joten itse koekin on tiivistänyt pohjamaata kokeen syvyysvaikutuksen verran. Kuviossa 16 on esitetty saadut tutkimustulokset.

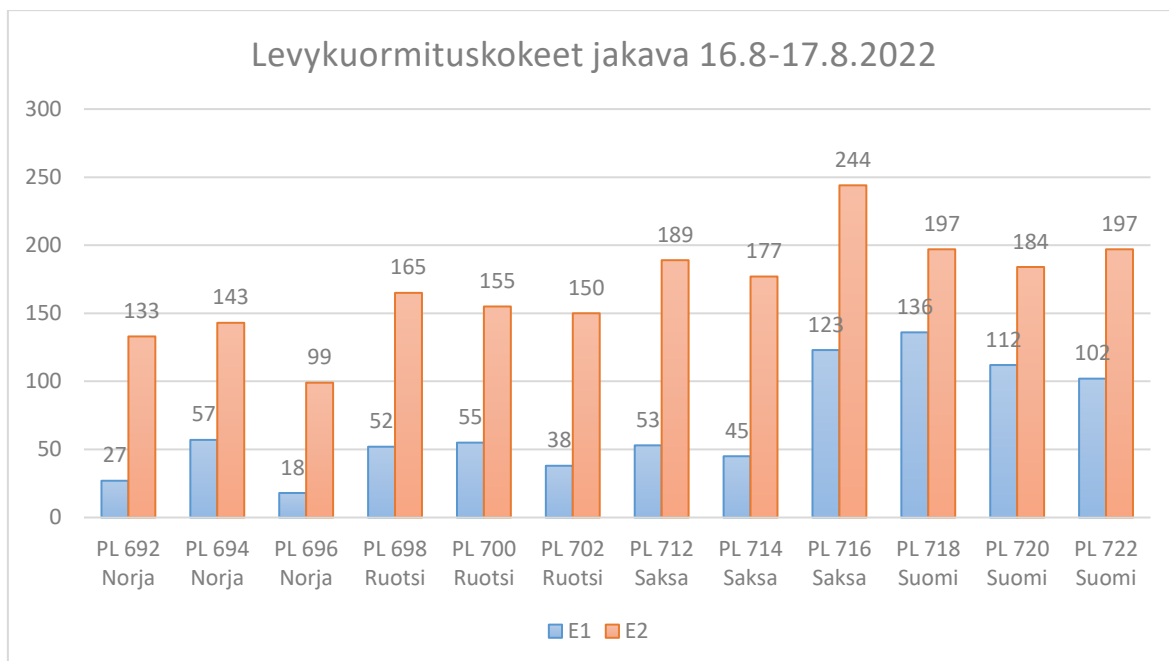


Kuvio 16. Loadman-kokeiden tulokset

6.8 Levykuormituskokeet jakava kerros 16.8–17.8.2022

Levykuormituskokeet suoritettiin iltapäivällä 16.8.2022 klo 12.00–15.30 ja aamulla 17.8.2022 7.00–8.30. Iltapäivällä aurinko paistoi ja lämpötila oli 28 astetta. Aamulla aurinko paistoi ja lämpötila oli 19 astetta. Alueella ei ollut satanut kolmeen viikkoon.

Jakavasta kerroksesta ei otettu kuin yksi koesarja. Kokeista havaittiin, että E1 tulos jää alhaiseksi. Tuloksista havaitaan, että paalulla 714 tapahtuu selkeä kantavuuden aleneminen paalulle 692 asti. Kuviossa 17 on esitetty levykuormituskokeiden tulokset.



Kuvio 17. Jakavan kerroksen levykuormituskokeiden tulokset

Levykuormituskokeiden alhaisen tuloksen selittää osittain lajittunut rakenne, jossa rakenteen pintaan jääneet suuremmat rakeet ovat olleet löyhässä tilassa ja kuormituksen alla asettuneet uudelleen. Mahdollisesti liian suurella amplitudilla tiivistetyssä rakenteessa pinta jää löyhäksi. Työmaalla ilmoitettiin tiivistyskertojen määräksi paaluvälillä 712–722 kolme yliajokertaa ja paaluvälillä 692–702 kaksi yliajokertaa, jolloin tiivistyskertojenkin määrä voisi olla liian alhainen. Mahdollista työn aikaista tiivistystä on voinut tapahtua, joten tiivistysmäärät eivät ole täysin tiedossa. Kokeen ohessa ei käytetty tasaushiekkaa. Kuvassa 8 on esitetty jakavan kerroksen pinta tiivistyksen jälkeen.

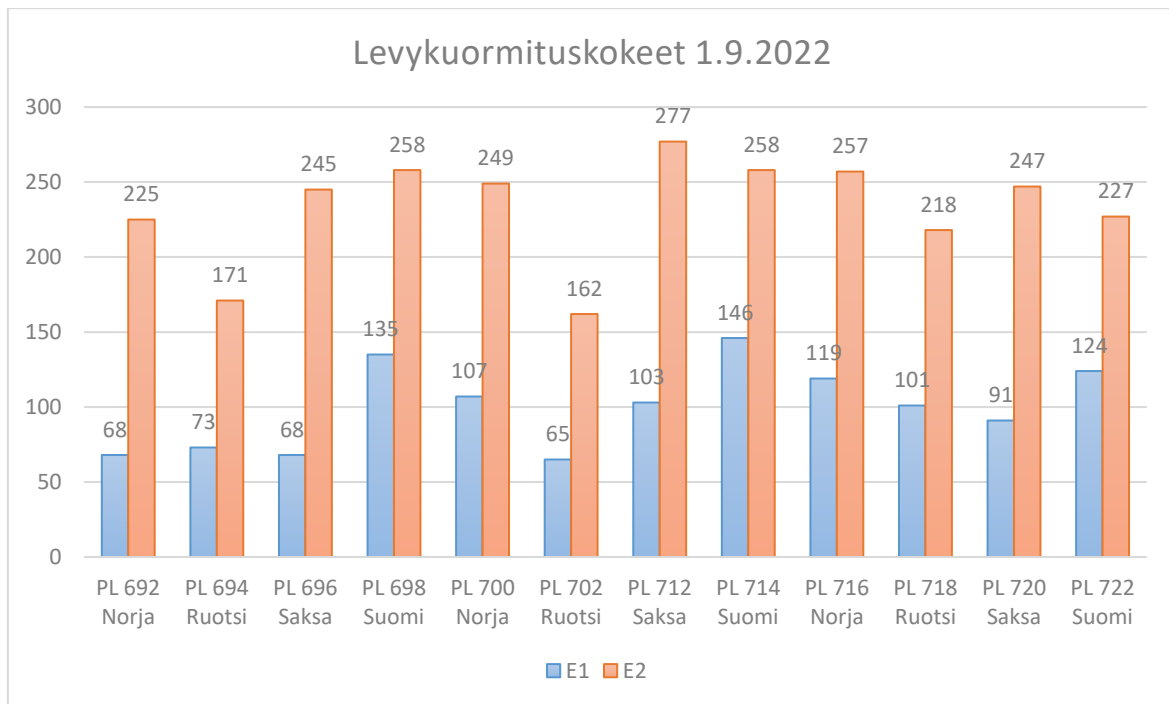


Kuva 8. Jakavan kerroksen pinta paalulla 722

Rakenteesta on havaittavissa selkeitä alueita, johon hienompi kiviaines on keskittynyt. Kokeiden suoritus työmaalla toteutettiin kadun pituussuunnassa. Aikataulullisista syistä kokeet suoritettiin ohje/normi kerrallaan virheiden minimoimiseksi. Alkuperäinen suunnitelma oli, että kokeet suoritetaan vuorotellen normeja. Koska muilla ohjeilla suoritettuja levykuormituskokeita en ollut aikaisemmin tehnyt, tein ratkaisun suorittaa kokeet normi kerrallaan. Tiukka aikataulu ja uusien koemenetelmien harjoittelu toivat haasteita ja on mahdollista, että virheitäkin kokeita tehdessä on tullut.

6.9 Levykuormituskokeet kantava kerros 1.9.2022 ja 5.9.2022

Ennen tutkimuspäivää oli ollut epävakaista noin viikon ajan. Viimeisin sade oli loppunut aamupäivällä. Keli oli pilvinen ja epävaka. Vettä ripotteli iltapäivällä klo 12.00–16.00 kahden kerran muutaman minuutin ajan. Tuulta oli 8 m/s ja lämpötila oli 10 astetta. Kuviossa 18 on esitetty levykuormituskokeiden tulokset, kun kaivinkone on ollut vastapainona.



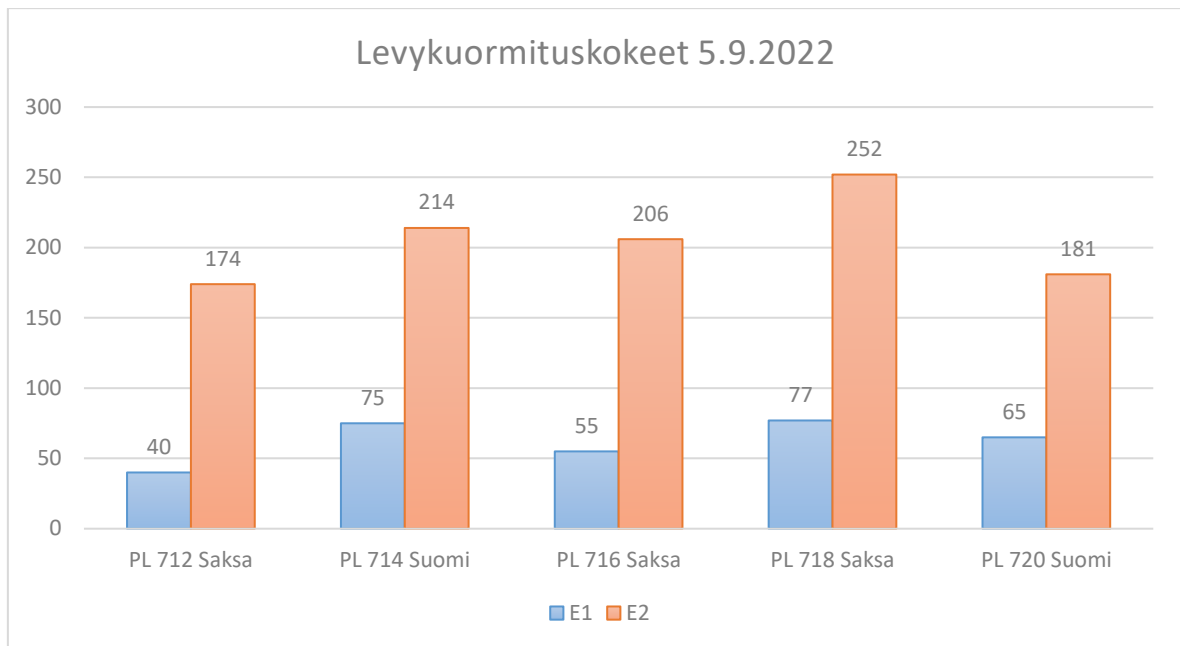
Kuvio 18. Levykuormituskokeiden tulokset kantavasta kerroksesta, kun vastapainona on ollut kaivinkone

Tuloksista havaitaan, että suomalaisella menetelmällä suoritetuilla kokeilla on suuremmat E₁- ja E₂-arvo sekä pienempi tiiviyssuhde kuin muilla menetelmillä. Kokeita tehdessä kuormitusportaalla pidettyä aikaa ei mitattu. Tiivistystyöstä ei ole dokumentaatiota. Kuvassa 9 on esitetty kuva kantavasta kerroksesta.



Kuva 9. Kantava kerros ja kokeiden sijainteja

Levykuormituskokeet otettiin sinisellä rastilla merkityistä paikoista. Kuva on otettu vasta tutkimuksien jälkeen. Kuvasta voidaan havaita, kuinka tela-alustainen kaivinkone saa pinnan irtoamaan. Vastapaino tarkastelua varten tehtiin kuorma-auto vastapainona kuusi kappaletta levykuormituskokeita. Ensimmäinen koe epäonnistui johtuen kuorma-auton jousituksen paineilmatasäädöstä, joka muutti tunkille kohdistuvaa kuormitusta. Ensimmäistä koetulosta ei tulla huomioimaan tuloksissa. Kuviossa 19 on esitetty tutkimustulokset tekojärjestyksessä. Tutkimukseen valittiin vain kaksi normia, joiden mukaan kokeet suoritetaan, koska eri ohjeistuksella tuotetuista tuloksista ei koettu saavan lisäarvoa tutkimusta varten eikä niiden vertailu ole mahdollista vastapainon vaikutuksen tarkastelun näkökulmasta.



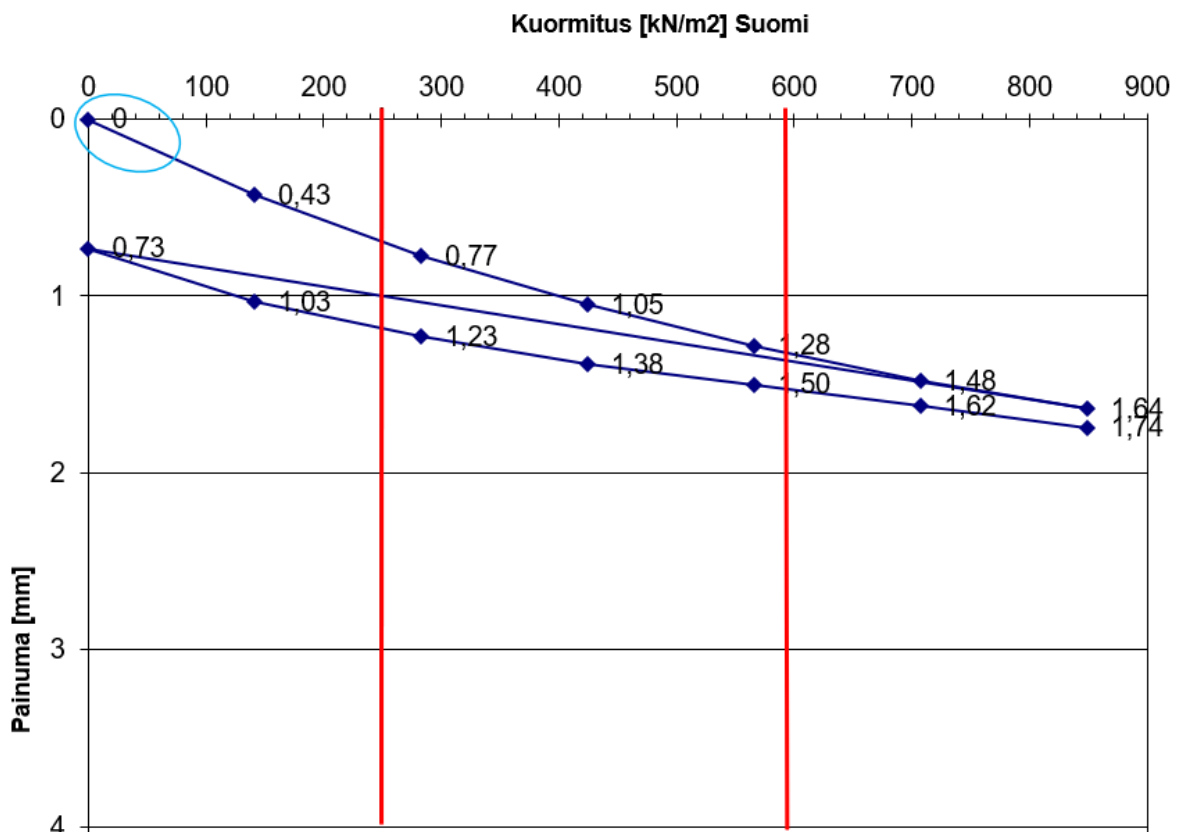
Kuvio 19. Levykuormituskokeet, kun vastapainona on ollut kuorma-auto

Koska tiivistystyöstä ei ole dokumentaatiota ja tulokset ovat selkeästi alhaisemmat kuin kaivinkoneesta otetuissa kokeissa, päädyttiin tekemään kyseisestä alueesta Loadman-pudotuspainolaitemittaukset. Loadman-kokeilla tehtiin vertailukokeet keskilinjalta ja reunalinjalta. Loadman-kokeiden tulokset on esitetty myöhemmin vastapainon vertailun johdopäätös osiossa.

7 Tutkimustulosten tarkastelu

7.1 Esikuormitustarkastelu ja kuormituksen purkamisen tarkastelu

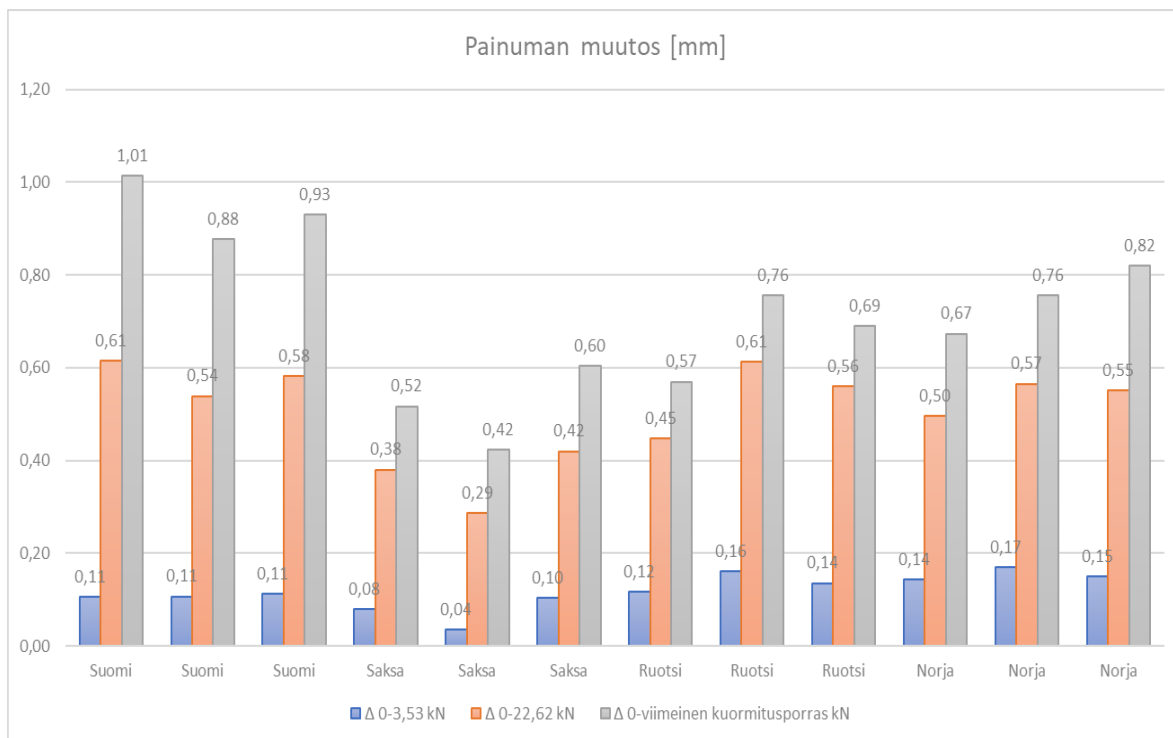
Esikuormituksen vaikutus rakenteeseen riippuu kuormituksen suuruudesta. Mitä suurempi esikuormitus on, sitä enemmän se tiivistää rakennetta. Esikuormituksen vaikutukset eivät vaikuta 30–70 % laskentatavassa, jos esikuormitus on pienempi kuin 30 % maksimikuormasta. Laskenta ei tällöin huomioi kuormitusportaita. Oheisessa kuviossa 20 on esitetty miltä väliltä laskenta huomioi kuormituksen suomalaisella menetelmällä sekä millä alueella esikuormitus tapahtuu.



Kuvio 20. Punaisella havainnollistettu laskentaväli sekä sinisellä alue, jossa esikuormitus tapahtuu

Sinisen ympyrän alueella tapahtuu kokeen esikuormitus, joten havaitaan, ettei esikuormituksella ole vaikutusta koetulokseen. Levykuormituskokeiden kuormitusten purkamisessa on ohjekohtaisia eroavaisuuksia. Suurin eroavaisuus ohjeiden välillä syntyy saksalaisen normin kohdalla, jossa kuormitusta ei päästetä nollaan ensimmäisen kuormituskierroksen jälkeen, vaan kuorma tulee pudottaa 2 % maksimikuormasta. Kuviossa 21 on esitetty muutoksen suuruus ensimmäisen kuormituskierroksen jälkipainuman ja toisen kierroksen ensimmäisen kuormitusportaan väliltä. Kaikilla koemenetelmillä kuormitusportaiden suu-

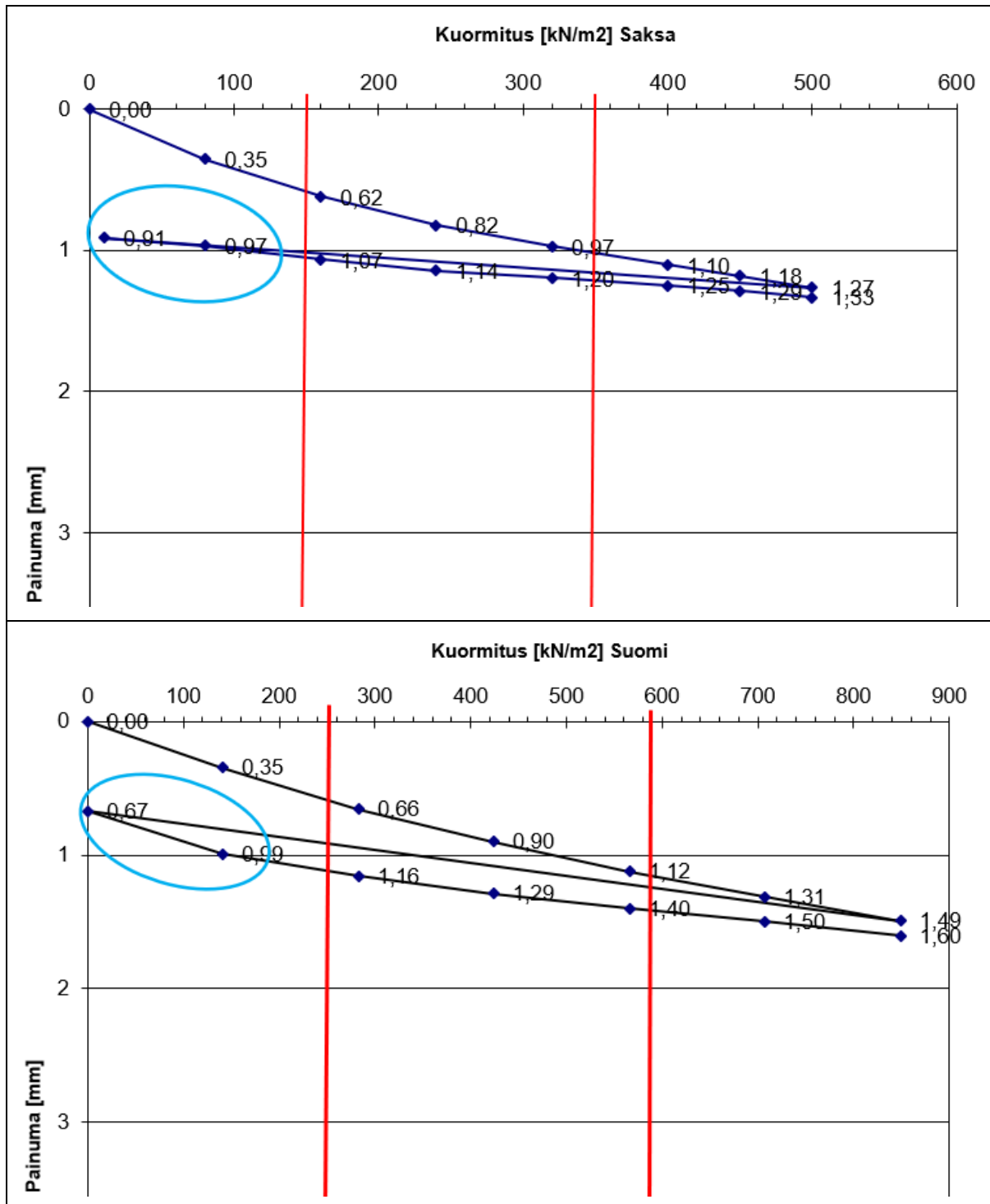
ruudet eivät ole samoja, joten tulokset on interpoloitu kuormitustasolle 3.53 kN, 22.62 kN ja jokaisen menetelmän toisen kuormituskierroksen kokonaispainuman muutos.



Kuvio 21. Painuman muutos eri kuormitustasoilla toisella kuormituskierrökselle

Taulukosta havaitaan, että kuormituksen purkamisella voisi olla vaikutusta seuraavan kierroksen kuormituksen painumaan. Jännitystä pidettäessä koko kokeen ajan ei kimmoisa muodonmuutos pääse tapahtumaan ensimmäisen ja toisen kuormituskierroksen välissä. Kuten edellä jo mainittiin ensimmäisen kuormituskierroksen kohdalla, ei kyseisellä toimenpiteellä ole laskennallisesti vaikutusta E_2 -muodonmuutosmoduulin laskennassa toisella kuormituskierröksellä nykyisellä laskentatavalla.

Tarkasteltaessa painuma-kuormitus-kuvaajia voidaan havaita, että kyseiset painumat kokonaispainumasta ovat pieniä ja laskentatavan muutoksen myötä niitä ei tule huomioitua laskennassa. Kuviossa 22 on esitetty satunnaisesti valitut suomalaisen ja saksalaisen menetelmän mukaisten koetuloksien kuormitus-painuma-kuvaajat.

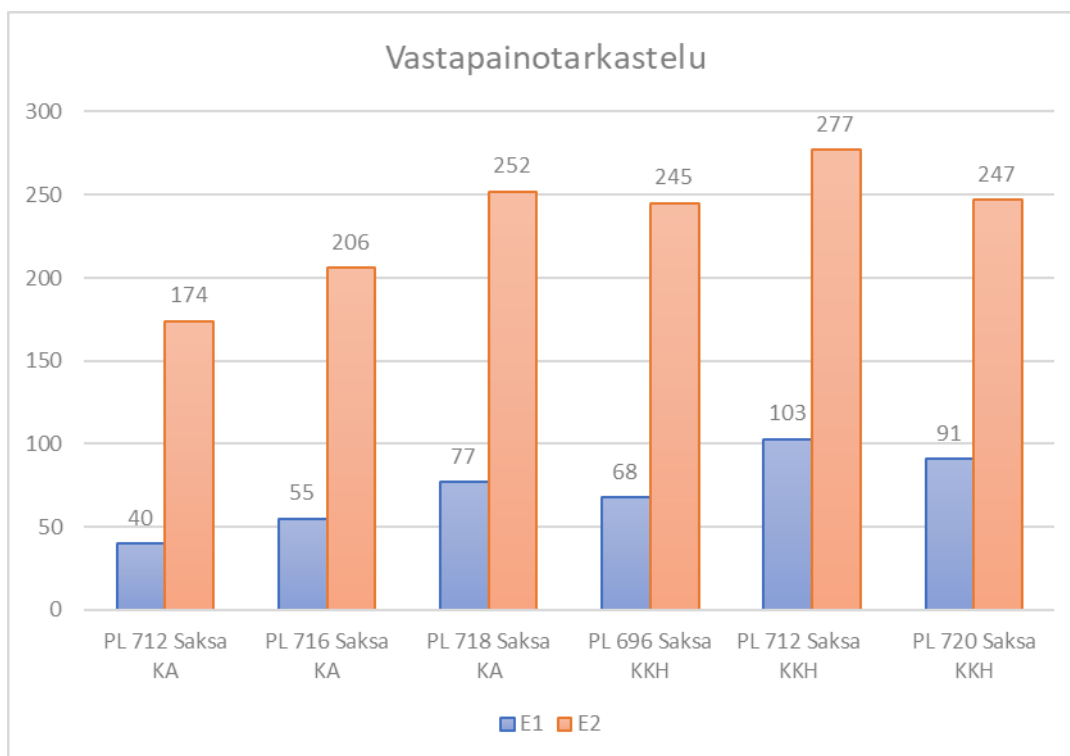


Kuvio 22. Kuormitus-painuma-kuvaajista havaitaan painuman eteneminen

Kuormitus-painuma-kuvaajasta havaitaan selkeästi kuormituksen eroavaisuus toisen kuormituskerroksen alkuvaiheessa sinisellä ympyröidyillä alueilla.

7.2 Vastapainotarkastelu

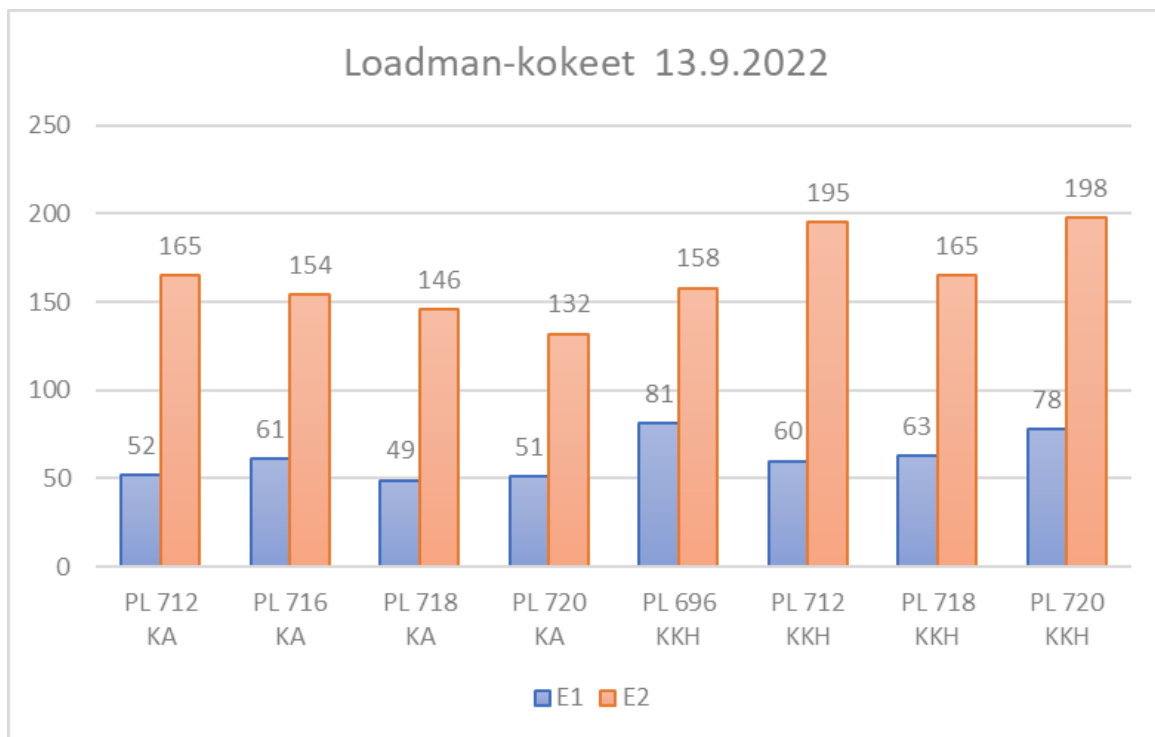
Vastapainotarkastelussa pyrittiin selvittämään kuorma-autosta tehdyn levykuormituskokeen sekä kaivinkoneesta tehdyn levykuormituskokeen eroja tulokseen. Levykuormituskokeita toteutettiin yhteensä 12 kappaletta. Kokeista kuusi kappaletta tehtiin kaivinkoneen alta ja kuusi kappaletta kuorma-auton alta. Kokeita tehtiin kahdella menetelmällä. Kokeiksi valikoituivat suomalainen- sekä saksalainen koemenetelmä. Menetelmiä olisi tarvittu vain yksi, koska kahdella eri menetelmällä tehtyjen tuloksien vastapainovertailu ei ole mahdollista, koska mahdollisia muuttujia on useita. Lopullisia vertailtavia koetuloksia on siis saksalaisella menetelmällä suoritettuja kokeita eri vastapainoista. Kuviossa 23 on koottu saksalaisen koemenetelmän mukaisesti suoritettuja levykuormituskokeita kaivinkoneen alta ja kuorma-auton alta.



Kuvio 23. Levykuormituskokeiden tulokset (KA=kuorma-autosta ja KKH=kaivinkoneesta)

Tuloksista voidaan havaita, että vastapainolla mahdollisesti olisi merkitystä koetulokseen. Tuloksiin tulee kuitenkin suhteutua kriittisesti, koska rakenteessa olleita eroavaisuuksia ei saatu täysin poistettua. Tällöin levykuormituskokeessa vaikuttavien levyn yläpuolisten virhelähteiden selvittäminen ei ole täysin luotettava. Tutkimuspisteiden määrä on myös pieni, mikä myös puoltaa tutkimuksen uusimista suuremmalla määrällä mittauksia tasalaa-tuisella maarakenteella. Levykuormituskoe-tulosten yhteydessä havaittiin, että maaraken-teessa saattaa olla eroavaisuuksia. Levykuormituskokeiden jälkeen käytiin tekemässä

vertailukokeet kevyellä Loadman-pudotuspainolaitteella. Tuloksista voidaan havaita mahdollisia eroavaisuuksia kadun keskilinjan (KKH) ja reunalinjan (KA) välillä rakenteen tiivistyksessä. Loadman-tuloksista ei voida vetää suoraa matemaattista yhteyttä keskilinjan ja reunalinjan välille eikä tuloksista voida tehdä lopullisia päätöksiä vastapainon vaikutuksesta koetulokseen. Kuviossa 24 on esitetty Loadman-pudotuspainolaitteella saadut vertailutulokset.



Kuvio 24. Alueen kartoittavat Loadman-koetulokset

Tuloksista havaitaan kaivinkoneen (KKH) linjalta saatujen tutkimustuloksien olevan selvästi korkeampia. Keskilinjan ja reunalinjan eroavaisuuden selittää mahdollinen eroavaisuus tiivistystyössä ja työnaikainen työmaaliikenne, joka on tiivistänyt rakennetta keskilinjalta entisestään kokeiden välipäivinä.

7.3 Havaintoja ja haasteita tutkimuksessa

Tutkimustuloksia on määrällisesti vähän, joten tutkimuksessa syntyviä havaintoja voidaan pitää suuntaa antavina. Selkeimpänä havaintona esiin nousi, ettei laadunvarmistus ja levykuormituskoe ole täysin yksiselitteisiä. Koe itsessään on varsin selkeä toimenpide, mutta levykuormituskokeessa vaikuttaa useat muuttujat. Näiden muuttujien poissulkeminen yksittäisen muuttujan vaikutuksen tarkastelua varten on haasteellista. Tutkimuksessa havaittuja muuttujia on rakenteen materiaalin kerrospaksuuden ja rakeisuuden vaihtelu, tiivistystyö, sääolosuhteet sekä kokeen suorittaja. Materiaalin kerrospaksuus ja rakeisuus tulisi

valvoa, koska paksuuden muutoksella on vaikutusta maarakenteen kantavuuteen. Työmaaolosuhteissa toimittaessa mahdollisia muuttujia tiivistyksessä ovat mahdolliset kaluston muutokset esimerkiksi kaluston hajoamisen takia. Tiivistystyön toteuttaja voi vaihtua kesken työn eikä tietoa tarkoista alueista ja tiivistysmääristä tule jaettua, jolloin tiivistystyö voi jäädä osassa rakennetta vaillinaiseksi. Tehty maarakenne voi olla työnaikaisessa käytössä, jolloin maarakenne tiivistyy työmaaliikenteen seurauksesta epätasaisesti. Rakenerrokset ovat alttiita sääolosuhteille, jolloin pitkään auki olevassa maarakenteessa voi tapahtua hienoaineksen kulkeutumista alempiin kerroksiin, jolloin rakenteen pinta jää avoimaiseksi.

Koetta voidaan tehdä usealla eri tavalla muuttaen koetta pienin variaatioin ja niiden vaikutusta vähentää nykyinen InfraRYL mukainen laskentamenetelmä. Levykuormituslaitteiston mittaustarkkuus on ristiriidassa ohjeistuksessa vaadittavaan mittaustarkkuuteen. Kokeita ei onnistuttu suorittamaan ohjeistuksien mukaisesti. Haasteita ilmeni kuormitusajan mittauksessa kuormitusportaalla, koska kolmesta mittakellosta ei voida havaita oikeaa aikaa, jolloin painuma on 0.1 mm/min. Tällöin ei voida olla varmoja, milloin kuormitusportaan nosto tulisi tehdä. Jos kellot eivät pysähdy nopeasti, jännitys laskee tunkissa. Kuormituksen tulisi olla yhtä suuri koko pitoajan yksittäisellä kuormitusportaalla. Tunkin manometrin tarkkailu yhdessä kolmen mittakellon ja mahdollisen ajastimen kanssa ei myöskään ole mahdollista tarkan tuloksen saamiseksi. Edellä mainittujen havaintojen selvittämiseen tulisi tehdä runsaasti levykuormituskokeita ja sulkea muut muuttajat vuorollaan pois.

Levykuormituskokeiden eri menetelmät eivät olleet valmiiksi hallussa. Tutkimustapoja opeteltiin tutkimuksen aikana. Tutkimuksia tehdessä tiukassa aikataulussa, on mahdollista, että kokeissa on syntynyt virheitä.

Tutkimus haluttiin suorittaa työmaaolosuhteissa. Työmaaksi valikoitui rauhallinen työmaa, joka oli sijaintinsa ja aikataulunsa puolesta otollinen. Tutkimuksen teon yhteydessä havaittiin kuitenkin, että tarkemmat tulokset olisi saavutettu koerakenteella. Työmaan johto ei ollut kokeiden ottoaikoina paikalla ja asioiden sopiminen hoidettiin puhelimitse tai työntekijöiden välityksellä. Suoritetuista tiivistystyön ylijokertojen määristä ei ollut tietoa saatavilla. Koepaikkoja ei myöskään voitu rauhoittaa tutkimuksen ajaksi, jolloin työnaikaista tiivistymistä on mahdollisesti tapahtunut. Loadman-kokeilla tehdyn vertailun perusteella kantavasta kerroksesta kadun keskilinjalta saatiin korkeampia kantavuuden arvoja, mikä viittaisi työmaaliikenteen tiivistäneen maarakennetta tai keskilinjaa olisi tiivistetty enemmän. Tutkimuspisteiden kohdalta kulki myös tela-alustainen kaivinkone, joka liikkeillään sai rakenteen pinnan irtomaahan, jolloin pinta tuli tiivistää uudelleen kerran. Pohjamaan tiivistyk-

sessä valssijyrän hajoaminen on voinut vaikuttaa tiivistyksen laatuun pohjamaalla, koska toinen puoli tiivistettiin tärylevyllä.

Opinnäytetyön aikatauluttaminen tutkimusvaiheessa oli suunniteltu, mutta aikataulun toteuttaminen ei ollut mahdollista. Työmaa ei voinut varautua kyseisiin muutoksiin heidän aikataulussaan työmaan ollessa jo käynnissä tutkimuksien suunnitteluvaiheessa. Työmaan eteneminen ja aikataulu rajoittivat vertailtavien kokeiden ja koemäärien ottoa eikä mahdollistanut tasalaatuista tiivistystöiden valvontaa koepisteillä.

Suomessa tulisi kehittää laite nykypäiväisemmäksi, jotta ohjeissa vaadittu mittaustarkkuus olisi mahdollinen. Norjassa on käytössä levykuormituslaitteistossa digitaalinen painumamittari, joka mittaa tarkat ajat kuormitusportaalla pidetystä ajasta sekä mittaa painuman minuuttia kohti, jolloin painumisen pysähtyessä voi kuormitusporrasta nostaa (Andresdottir 2019, 45 & Liite 5.). Suomessa levykuormituslaitteisto voitaisiin kehittää astetta pidemmälle. Laitteisto suorittaisi kuormitukset esikuormituksesta lähtien ja mittaisi tarkat ajat kuormitusportailta sekä purkaisi kuormituksen hallitusti vaaditulle tasolle sekä valmistaisi viralliset dokumentit. Tämän jälkeen laitteistolla olisi mahdollisuus tehdä vertailuja tuloksen tarkkuudesta käsikäyttöisen ja automatisoidun välillä sekä tutkia erilaisia kuormitustapoja ja niiden eroavaisuuksia. Nykyisellään kokeen suorittamisen jälkeen usein työmaalla lasketaan suuntaa antava tulos maksimikuormituksen suhteen käsin, koska urakoitsija usein haluaa päästä jatkamaan töitä mahdollisimman nopeasti. Kokeiden teon jälkeen mennään toimistolle työpisteelle, jossa papereista täytetään tulokset viralliselle lomakkeelle ja lähetetään asiakkaalle. Jos kokeita on useita, kasvaa virheen mahdollisuus ja aikaa voi mennä lomakkeiden täyttämisiin useita tunteja, jolloin dokumenttien lähetys viivästyy.

Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna laadunvalvonnalla on hyvin tärkeä vaikutus rakentamisessa. Rakenteen tekeminen on kallista, mutta rakenteen korjaaminen vielä kalliimpaa. Maksajiksi tässä joutuvat myös veronmaksajat. On kaikkien osapuolten etujen mukaista, että laadunvalvonnan työkaluilla mittaaminen olisi mahdollisimman tarkkaa, tasalaatuista ja inhimillisen virheen mahdollisuus olisi tekoavassa minimoitu.

7.4 Jatkoehdotukset

Levykuormituskokeita tutkimukseen tehtäessä havaittiin, ettei työmaa olosuhteet ole suosituisat kokeen tutkimiseen. Tutkimuksien suorittaminen on suositeltavaa koerakenteen avulla, jolloin tutkimuksien tekeminen olisi rauhoitettu ja työ saataisiin dokumentoitua asiaan kuuluvalla tavalla. Tutkimuksessa jäi tarkastelematta kuormitusportaalla pidetyn ajan vaikutus sekä mahdollisten kuormitusportaiden nostojen suuruuden vaikutus tulokseen.

Eri maiden ohjeistuksissa kuormitusportaat vaihtelevat ja näiden vaihtelun merkitystä tulisi tutkia.

Jotta tulevaisuudessa saavutettaisiin vaadittava mittaustarkkuus, on levykuormituskoelaitteistoon tehtävä automaatiotyökalu, joka suorittaa levykuormituskokeen alusta loppuun, vertaisi tutkimuksia kohteen vaatimukseen ja tulostaisi tutkimusdokumentit. Laite poistaisi inhimillisen virheen mahdollisuuden kokeen suorittamisesta ja tekisi laadunvarmistuksesta tehokkaampaa. Uudella laitteistolla työmaalla vietetty aika vähenisi ja dokumenttien tekeminen helpottuisi, jolloin voitaisiin tarkastella työn tehokkuuden muutosta ja siitä saatavia mahdollisia etuja. Automatisoidun levykuormituslaitteiston ja perinteisen levykuormituslaitteiston eroja voitaisiin vertailla. Mahdollisia levykuormitusnormien vertailuja voitaisiin toteuttaa nopeasti syöttämällä laitteistoon eri normin asetukset. Levykuormituskoenormien vertailusta voisi toteuttaa vertailututkimuksen ja suorittaa kokeita eri menetelmillä, laskea tulokset omilla ohjeistuksillaan ja vertailla niiden kansallisia vaatimuksia keskenään. Ohjeistuksissa on paljon pieniä eroavaisuuksia, vaikka ne usein saksalaista DIN-normia myötäilevätkin, mutta niiden vaikutuksista lopputulokseen ei ole tietoa.

Yksittäisen osan tarkastelua varten olisi koerakenteeseen tehtävä useita tutkimuksia ja enemmän dokumentointia. Rakenteen rakeisuutta ja paksuutta tulisi valvoa, koska jo pienelläkin muutoksella on vaikutusta koetulokseen. Yksittäisen kokeen osan vaikutusten tarkastelu vaatii monipuolisempaa mittauksia etenkin rakenteen osalta. Tutkimuksessa tulisi suorittaa in-situ-mittauksina myös vesivolymetrikokeita sekä vertailuksi Troxler-kokeita tiiviysasteen selvittämiseksi. Raskaalla pudotuspainolaitteella tulisi tehdä vertailumittauksia kantavuuksien vertailua varten. Rakenne tulisi pitää olosuhteiltaan samanlaisessa tilassa, jotta voitaisiin sulkea pois mahdollisten sääolosuhteiden vaihtelun vaikutukset maarakenteen vesipitoisuuteen.

Levykuormituskokeen suorituksesta eikä laitteiston ylläpidosta ole olemassa virallista standardia Suomessa. Levykuormituskokeelle tulisi tehdä virallinen standardi kokeen suorittamisesta kuten Saksassa. Kokeita tulee suorittaa vielä virallisissa tutkimusoloissa, joissa voidaan varmistaa havainnot.

Lähteet

Al-Engineering. 2015. Loadman-käyttöohje. Espoo. Viitattu 16.1.2023. Saatavissa <https://www.al-engineering.fi/loadman-kaytto-ohje>

Andresdottir, H. 2019. Plate Load testing: Effects of in situ conditions, test procedure and calculation method. Norway: Norwegian University of Science and Technology. Viitattu 1.3.2023. Saatavissa <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/veqdim/finalproduction-636971880198874827-21c081fa-5535-46d7-8594-161c7502203a.pdf>

Dansk Geoteknisk Forenings Feltkomité. 2005. Referenceblad for statiske pladebelastningsforsøg. Viitattu 16.6.2022. Saatavissa https://danskgeotekniskforening.dk/sites/default/files/pdf/referenceblade/Referenceblad_6-statiske_pladebelastningsforso.pdf

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2012. Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate Load Test, English translation of DIN 18134. 2012. Berlin: Beut Verlag GmbH. Viitattu 16.6.2022. Saatavissa https://www.academia.edu/38507057/Determining_the_deformation_and_strength_characteristics_of_soil_by_the_plate_loading_test_DIN

Tielaitos. 1994. TIEL 2220003 Rakentamisen laadunvarmistus, Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset (Vanhentunut). Helsinki: Tielaitos. Viitattu 16.6.2022. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133281/tie1724.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. Porvoo: Bookwell Oy

Kalliainen, A., Luomala, H., Jäniskangas, T., Nurmikolu, A., Kolisoja, P. 2011. Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Helsinki: Väylävirasto. Viitattu 16.11.2023. Saatavissa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121366/its_2011-10_radan_eristys_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kolisoja, P. 1993. Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutokset– Kirjallisuusselvitys. Helsinki: Tielaitos Geokeskus. Viitattu 26.1.2023. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138498/3700tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kolisoja, P. 1996. Sitomattomien materiaalien moduulit. Helsinki: Tielaitos Geokeskus. Viitattu 14.1.2023. Saatavissa <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138753/3944tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Koppana, T. 2017. Pudotuspainolaitteen ja levykuormituskokeen vertailu. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 10.2.2022. Saatavissa <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25647/Koppana.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Pippo, H., Belt, J., Ehrola, E. 1990. Tien kantavuuden mittauslaitteet ja eri laitteilla määritetyt kantavuudet. Oulu: Oulun yliopisto

Ramirent. 2023. Viitattu 16.1.2023. Saatavissa <https://www.ramirent.fi/vuokraa/maanrakennuskoneet>

Rakennustieto. 2022a. InfraRYL. Tietoa InfraRYListä. Viitattu 24.1.2023. Saatavissa rajoitetusti https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/ryl/InfraRYL/2022_2/Liite_2_Kerrosrakenteiden_tivistystyon_ja_tiiyid_entarkkailun_menetelmat_9304b214-7085-446c-9a64-826723d33bc4.html

Rakennustieto. 2022b. MaaRYL. Tietoa MaaRYListä. Viitattu 24.1.2023. Saatavissa rajoitetusti https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/ryl/MaaRYL/2023_1/MAARYL_Liite_2_Kerrosrakenteiden_tivistystyon_ja_tiiyidentarkkailun_menetelmat_e72cc982-99d8-4d20-9a8e-4603e754b952.html

Sahlman, T. 2013. Jätevoimalan arinakuonan vastaavuustestaus. Tampere: Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.2.2023. Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/57235/Sahlman_Tomi.pdf

Siika, T. 2006. Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus. Helsinki: EVTEK-ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.2.2023. Saatavissa https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2006/2006_4.pdf

Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL ry. 2000. RIL 132–2000 Talonrakennuksen maarakenteet – yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

Statens vegvesen. 2021. Feltundersøkelser Håndbok R211. Saatavissa <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/r211-feltundersokelser-2021.pdf>

Travikverket. 2014. KRAV Bestamning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning. Viitattu 16.6.2022. Saatavissa <https://docplayer.se/107110104-Bestamning-av-bärighetsegenskaper-med-statisk-plattbelastning.html>

Väylävirasto. 2021. Radan eristys- ja välikerroksen luonnonmateriaalin rakeisuuden vaikutus kantavuuteen 61/2021. Viitattu 28.3.2023. Saatavissa https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/182048/vj_2021-61_978-952-317-908-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liite 1. Levykuormituskoemenetelmät

Ohjeiden vertailua	Menettelytavat (koskevat vain 300mm levyä)				
	Suomi	Ruotsi	Norja	Saksa	Tanska
Esikuormitus [kN]	3,5	0,71	1,41	0,71	-
Esikuormitus[kPa]	50	10	20	10	-
Esikuormituksen jälkeinen pitoaika[s]	-	30	"muutamia sekunteja"	30	-
Kuormitusportaiden määrä	6	Ensimmäiselle kierroksella portaita 7, toisella portaita 6	6	6	6
Kuormituskierroksia	2	2	2	2	2
Kuormitusportaat [kN]	10/20/30/40/50/60	5,65/ 11,31/ 16,96/ 22,62/ 28,27/ 31,81/ 35,34	3,53/ 12,72/ 21,21/ 29,69/ /35,34/ 42,41	5,65/ 11,31/ 16,96/ 22,62/ 28,27/ 31,81/ 35,34	5,65/ 11,31/ 16,96/ 22,62/ 28,27/ 31,81/ 35,34
Kuormitusportaat [kPa]	141,5/ 282,9/ 424,4/ 565,9/ 707,4/ 848,8	80/ 160/ 240/ 320/ 400/ 450/ 500	50/ 180/ 300/ 420/ 500/ 600	80/ 160/ 240/ 320/ 400/ 450/ 500	80/ 160/ 240/ 320/ 400/ 450/ 500
Kuormituksen aika kuormitusportaalla[s]	-	Ensimmäisellä kuormitusportaalla 120 s ja muilla portailla 60 s	Kuormitusportaalla ollaan niin kauan ettei kello liiku enempää kuin 0.02 mm minuutissa	max 60 s	Kun kuormitusta nostetaan painuma luetaan 2 min jälkeen ja purettaessa 1 min jälkeen
Kuormituksen purkaminen	Kun maksimikuormitus ja tulos merkitty kuormituksen voi purkaa hitaasti	Puretaan kolmessa portaassa 50%, 25% ja noin 0% max kuormasta	Kuorma lasketaan hitaasti nolnaan	Puretaan kolmessa portaassa 50%, 25% ja noin 2% max kuormasta	Puretaan kolmessa portaassa 50%, 25% ja noin 0% max kuormasta
Vastapainon tyyppi	Kuorma-auto tai kaivinkone	Kuorma-auto tai kaivinkone	Kuorma-auto tai kaivinkone	Kuorma-auto tai kaivinkone	Kuorma-auto tai kaivinkone
Kellojen määrä[kpl]	1 tai 3	1 tai 3	1	1 tai 3	1
Levyn halkaisija[mm]	300	300	300	300	300
Levyn paksuus [mm]	-	-	12	-	-
Muita huomioita	-	Toinen kuormituskerta kuormitetaan vain 31,81 kN [450 kPa] asti. Kuormitusportaita 6 kpl toisella kerralla. Koetta ei saa suorittaa materiaaleilla, joiden raekoko 1/4 suurempia kuin levyn halkaisija	Kuormitus toteutetaan kahteen kertaan samalla tavalla	Ennen esikuormitusta mittakellot nolldataan ja esikuormituksen jälkeen odotetaan 30 s ja mittakellot nolldataan uudestaan	Koe suoritetaan kerroksille, joista oletettu E-arvo on >30 Mpa. Tanskassa kaksi tapaa tehdä koe. Tässä käsitellään DIN 18134 pohjautuvaan ohjetta

Liite 2.

MAANÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET**RAMBOLL**

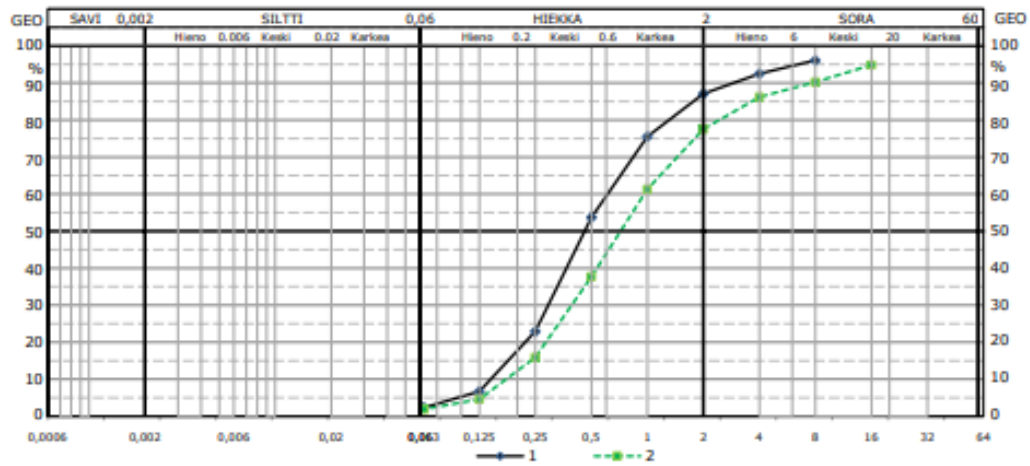
Työnumero

LIITE 9.8.2022

Tilaaaja

Kohde Karjakatu

Tutkija Teemu Kukkonen



		1	2	3	4	5
Näytteen piste		Pisteet 1-3	Pisteet 4-6			
syvyys		0,10	0,10			
ottamispäivä		8.8.2022	8.8.2022			
ottaja		TKUK	TKUK			
otin		Lapio	Lapio			
Vesipitoisuus	%	3,3	4,9			
Humuspitoisuus	%					
Hehkutushäviö 800°C	%					
Hienousluku						
Kapillaarisuus						
Tehokas raekoko	D10	0,15	0,18			
Tasaisuusluku	D60/D10	4,29	5,26			
Routivuus		Routimaton	Routimaton			
Hienoainespitoisuus	%					
Savipitoisuus	%					
Maalaji	ISO					
Silmävar.määritys	GEO					
Maalaji	GEO	Hk	Hk			
Huom.						
Paino	kuiva					
	areometri					
Lämpötila	areometri					
Raekoko, läpäisy-%						
SFS-EN 933-1						
	63					
	32					
	16		16,000	94,8		
	8	8,000	96,1	8,000	90,3	
	4	4,000	92,5	4,000	86,2	
	2	2,000	87,1	2,000	77,5	
	1	1,000	75,5	1,000	61,3	
	0,5	0,500	53,7	0,500	37,7	
	0,25	0,250	22,9	0,250	15,9	
	0,125	0,125	6,7	0,125	4,6	
	0,063	0,063	2,3	0,063	1,9	
Areometri	1min					
GLO-85	6min					
	1h					
	5h					
	1vrk					
	4vrk					

Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Tutkimustodistuksen saa kopioida ainoastaan kokonaisuudessaan.

Liite 2.

MAANÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET**RAMBOLL**

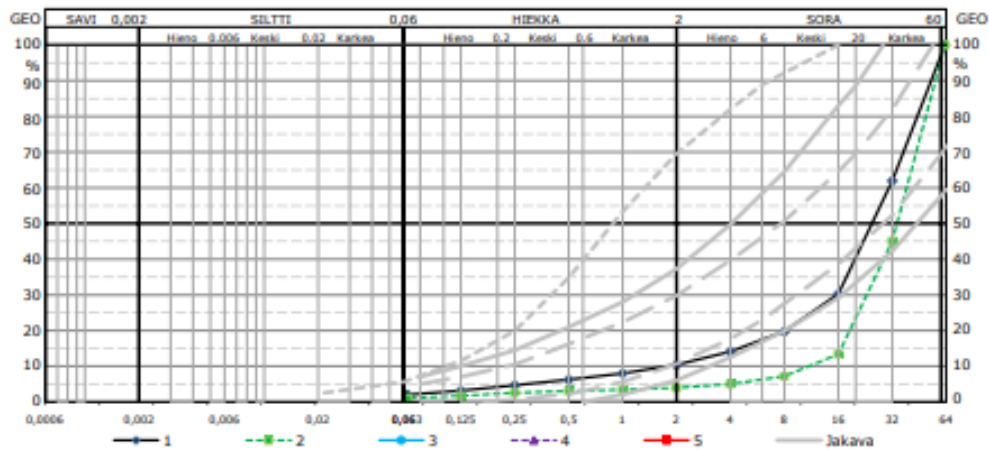
Työnumero

LIITE 18.8.2022

Tilaaaja

Kohde Karjakatu

Tutkija Teemu Kukkonen



		1	2	3	4	5
Näytteen piste		Alue 1-6	Alue 7-12			
syvyys		0-0,15	0-0,15			
ottamispäivä		18.8.2022	18.8.2022			
ottaja		TKUK	TKUK			
otin		Lapio	Lapio			
Vesipitoisuus	%					
Humuspitoisuus	%					
Hehkutushäviö 800°C	%					
Hienousluku						
Kapillaarisuus						
Tehokas raekoko	D10	1,84	9,45			
Tasaisuusluku	D60/D10	11,99	4,28			
Routivuus						
Hienoainespitoisuus	%					
Savipitoisuus	%					
Maalaji	ISO					
Silmävar.määrittys	GEO					
Maalaji	GEO	KaM 0-56	KaM 0-56			
Huom.		Näytteen koko 10 L	Näytteen koko 10 L			
Paino	kuiva					
	areometri					
Lämpötila	areometri					
Raekoko, läpäisy-%						
SPS-EN 933-1						
	63	63,000	100,0	63,000	100,0	
	32	32,000	61,9	32,000	45,0	
	16	16,000	30,3	16,000	13,4	
	8	8,000	19,7	8,000	7,2	
	4	4,000	14,1	4,000	5,0	
	2	2,000	10,4	2,000	4,0	
	1	1,000	8,0	1,000	3,4	
	0,5	0,500	6,2	0,500	3,1	
	0,25	0,250	4,7	0,250	2,6	
	0,125	0,125	3,1	0,125	1,7	
	0,063	0,063	2,0	0,063	1,0	
Areometri	1min					
GLO-85	6min					
	1h					
	5h					
	1vrk					
	4vrk					

Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Tutkimustodistuksen saa kopioida ainoastaan kokonaisuudessaan.

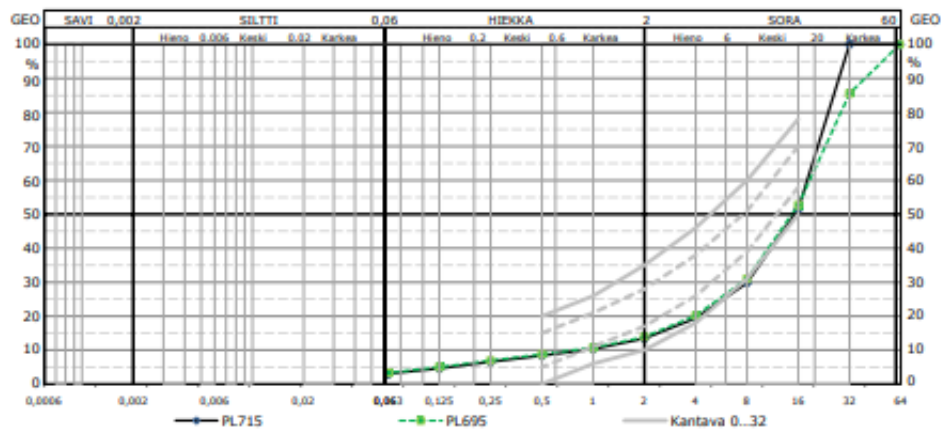
Liite 2.

MAANÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET

RAMBOLL

Työnumero
Tilaaaja
Kohde Karjakatu
Tutkija TKUK

LIITE 5.9.2022



		1	2	3	4	5
Näytteen piste		Alue 1-6	Alue 7-12			
syvyys		0-0,05	0-0,05			
ottamispäivä		1.9.2022	1.9.2022			
ottaja		TKUK	TKUK			
otin		Lapio	Lapio			
Vesipitoisuus	%					
Humuspitoisuus	%					
Hehkutushäviö 800°C	%					
Hienousluku						
Kapillaarisuus						
Tehokas raekoko	D10	0,92	0,81			
Tasaisuusluku	D60/D10	18,65	21,37			
Routivuus						
Hienoainespitoisuus	%					
Savipitoisuus	%					
Maalaji	ISO					
Silmävar.määrittely	GEO					
Maalaji	GEO	KaM 0-32	KaM 0-32			
Huom.		Näytteen koko 10 L	Näytteen koko 10 L			
Paino	kuiva	g	g			
	areometri	g	g			
Lämpötila	areometri	°C	°C			
Raekoko, läpäisy-%		63,000 100,0	63,000 100,0			
SFS-EN 933-1		32 32,000 100,0	32,000 85,6			
		16 16,000 51,5	16,000 52,8			
		8 8,000 29,8	8,000 31,0			
		4 4,000 19,4	4,000 20,2			
		2 2,000 13,4	2,000 13,9			
		1 1,000 10,3	1,000 10,7			
		0,5 0,500 8,4	0,500 8,8			
		0,25 0,250 6,6	0,250 7,0			
		0,125 0,125 4,6	0,125 5,0			
		0,063 0,063 3,1	0,063 3,3			
Areometri	1min					
GLO-85	6min					
	1h					
	5h					
	1vrk					
	4vrk					

Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä. Tutkimustodistuksen saa kopioida ainoastaan kokonaisuudessaan.

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **1,1** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
29		
	58	1,99
	71	2,41
	76	2,59
	80	2,74
	78	2,67
	82	2,78
	Tulos	2,78

Koepiste nro.: **1,2** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
42		
	85	2
	94	2,21
	100	2,35
	104	2,44
	101	2,36
	108	2,53
	Tulos	2,53

Huomautukset

Liite 3

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **1,3** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
52		
	98	2,19
	108	2,39
	109	2,49
	116	2,4
	120	2,59
	120	2,66
	Tulos	2,66

Koepiste nro.: **1,4** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
42		
	94	2,19
	103	2,39
	107	2,49
	103	2,4
	112	2,59
	114	2,66
	Tulos	2,66

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohde: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.:	2,1	Mitattava rakenne:	
		Pohjamaa tiivistetty	
E1	E2	Suhde	
33			
	74	2,22	
	87	2,6	
	92	2,77	
	97	2,91	
	103	3,09	
	105	3,14	
	Tulos	3,14	

Koepiste nro.:	2,2	Mitattava rakenne:	
		Pohjamaa tiivistetty	
E1	E2	Suhde	
42			
	84	1,99	
	99	2,34	
	106	2,51	
	110	2,6	
	111	2,62	
	124	2,93	
	Tulos	2,93	

Huomautukset

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 2,3 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
45		
	88	1,92
	96	2,11
	99	2,18
	105	2,31
	107	2,34
	109	2,4
	Tulos	2,4

Koepiste nro.: 2,4 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
40		
	92	2,3
	102	2,57
	108	2,71
	109	2,73
	110	2,77
	114	2,86
	Tulos	2,86

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko	132mm
	200 mm
X	300 mm

Koepiste nro.: **3,1** Mitattava rakenne: Pohjamaa tilvistetty

E1	E2	Suhde
36		
	72	2,02
	85	2,35
	90	2,5
	96	2,67
	101	2,78
	103	2,84
	Tulos	2,84

Koepiste nro.: **3,2** Mitattava rakenne: Pohjamaa tilvistetty

E1	E2	Suhde
28		
	67	2,35
	80	2,82
	89	3,12
	93	3,27
	96	3,87
	98	3,44
	Tulos	3,44

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko	132mm
	200 mm
X	300 mm

Koepiste nro.:	3,3	Mitattava rakenne:	Pohjamaa tiivistetty
E1	E2	Suhde	
39			
	93	2,37	
	97	2,48	
	108	2,75	
	113	2,89	
	115	2,94	
	116	2,95	
	Tulos	2,95	

Koepiste nro.:	3,4	Mitattava rakenne:	Pohjamaa tiivistetty
E1	E2	Suhde	
60			
	100	1,66	
	105	1,73	
	108	1,79	
	111	1,83	
	114	1,87	
	115	1,89	
	Tulos	1,89	

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 4,1 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
30		
	61	1,99
	75	2,44
	81	2,63
	85	2,79
	89	2,91
	94	3,07
	Tulos	3,07

Koepiste nro.: 4,2 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
45		1
	79	1,75
	86	1,9
	94	2,08
	98	2,16
	100	2,21
	105	2,31
	Tulos	2,31

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 4,3 Mitattava rakenne: Pohjamaa tilvistetty

E1	E2	Suhde
59		
	106	1,79
	113	1,9
	116	1,96
	117	1,98
	120	2,02
	122	2,06
	Tulos	2,06

Koepiste nro.: 4,4 Mitattava rakenne: Pohjamaa tilvistetty

E1	E2	Suhde
59		1
	103	1,72
	108	1,82
	111	1,86
	114	1,9
	115	1,92
	117	1,98
	Tulos	1,98

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 5,1 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
37		
	73	1,97
	84	2,27
	89	2,41
	88	2,39
	91	2,47
	99	2,66
	Tulos	2,66

Koepiste nro.: 5,2 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
33		1
	66	1,96
	76	2,27
	84	2,49
	88	2,62
	90	2,67
	93	2,76
	Tulos	2,76

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko	132mm
	200 mm
X	300 mm

Koepiste nro.: 5,3 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
59		
	97	1,64
	105	1,77
	109	1,84
	113	1,9
	113	1,9
	114	1,92
	Tulos	1,92

Koepiste nro.: 5,4 Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
65		
	110	1,68
	116	1,78
	122	1,88
	106	1,69
	128	1,98
	120	1,84
	Tulos	1,98

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **6,1** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
28		
	53	1,85
	60	2,13
	67	2,37
	72	2,53
	74	2,61
	78	2,73
	Tulos	2,73

Koepiste nro.: **6,2** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
29		
	56	1,92
	66	2,26
	71	2,45
	73	2,51
	80	2,74
	82	2,83
	Tulos	2,83

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 8.8.2022 klo 8.00-10.30
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 16

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **6,3** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
58		
	91	1,56
	100	1,71
	103	1,76
	104	1,78
	108	1,83
	107	1,83
	Tulos	1,83

Koepiste nro.: **6,4** Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
67		
	107	1,59
	105	1,56
	117	1,74
	120	1,79
	121	1,8
	121	1,81
	Tulos	1,81

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.:	1,1	Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu ja tiivistetty	
PL 720			
E1	E2	Suhde	
39			
	70	1,79	
	79	2,03	
	84	2,17	
	87	2,24	
	90	2,31	
	92	2,36	
	Tulos	2,36	

Koepiste nro.:	1,2	Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu ja tiivistetty	
PL 720			
E1	E2	Suhde	
44			
	84	1,91	
	94	2,14	
	99	2,25	
	102	2,32	
	107	2,44	
	108	2,47	
	Tulos	2,47	

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 1,3
 PL 720

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
48		
	86	1,8
	94	1,97
	101	2,1
	104	2,17
	108	2,25
	109	2,27
	Tulos	2,27

Koepiste nro.: 1,4
 PL 720

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
44		
	77	1,76
	87	1,98
	93	2,13
	99	2,25
	101	2,3
	104	2,36
	Tulos	2,36

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.:	2,1	Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu ja tiivistetty	
PL 715			
E1	E2	Suhde	
33			
	70		2,1
	81		2,44
	90		2,68
	93		2,79
	98		2,94
	101		3,03
	Tulos		3,03

Koepiste nro.:	2,2	Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu ja tiivistetty	
PL 715			
E1	E2	Suhde	
43			
	78		1,81
	82		1,9
	97		2,23
	101		2,33
	104		2,41
	106		2,44
	Tulos		2,44

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **2,3** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 715 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
41		
	69	1,67
	79	1,92
	85	2,06
	89	2,15
	92	2,23
	94	2,27
	Tulos	2,27

Koepiste nro.: **2,4** Mitattava rakenne:
 PL 715 Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
37		
	74	1,97
	85	2,28
	92	2,46
	96	2,55
	99	2,64
	1,02	2,73
	Tulos	2,73

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 3,1
 PL 710

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
37		
	71	1,93
	84	2,2
	91	2,47
	96	2,6
	100	2,72
	103	2,8
	Tulos	2,8

Koepiste nro.: 3,2
 PL 710

Mitattava rakenne: Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
32		
	67	2,07
	80	2,47
	86	2,66
	92	2,86
	95	2,98
	99	3,06
	Tulos	3,06

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 3,3 Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 710 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
36		
	74	2,01
	87	2,37
	91	2,49
	98	2,69
	102	2,79
	103	2,81
	Tulos	2,81

Koepiste nro.: 3,4 Mitattava rakenne:
 PL 710 Pohjamaa tiivistetty

E1	E2	Suhde
37		
	66	1,76
	75	2
	82	2,19
	84	2,26
	86	2,31
	90	2,42
	Tulos	2,42

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **4,1** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 695 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
42		
	71	1,66
	80	1,88
	86	2,01
	91	2,13
	94	2,21
	97	2,28
	Tulos	2,28

Koepiste nro.: **4,2** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 695 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
40		
	76	1,88
	88	2,17
	94	2,33
	98	2,43
	101	2,51
	104	2,57
	Tulos	2,57

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 4,3
 PL 695

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
40		
	71	1,75
	79	1,96
	86	2,13
	91	2,25
	93	2,28
	97	2,4
	Tulos	2,4

Koepiste nro.: 4,4
 PL 695

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
38		
	68	1,77
	76	1,97
	83	2,16
	86	2,23
	85	2,2
	92	2,37
	Tulos	2,37

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: 5,1
 PL 690

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
36		
	69	1,9
	80	2,22
	87	2,4
	91	2,51
	95	2,62
	98	2,7
	Tulos	2,7

Koepiste nro.: 5,2
 PL 690

Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
35		
	63	1,81
	75	2,12
	80	2,26
	85	2,42
	88	2,5
	90	2,56
	Tulos	2,56

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **6,1** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 685 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
33		
	53	1,6
	64	1,92
	69	2,08
	72	2,16
	76	2,29
	79	2,37
	Tulos	2,37

Koepiste nro.: **6,2** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 685 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
28		
	54	1,9
	64	2,23
	70	2,45
	75	2,63
	78	2,75
	81	2,84
	Tulos	2,84

Huomautukset

Liite 3.

Loadman-Kannettavan pudotuspainolaitteen mittaustulokset



Työkohte: Karjakatu Lappeenranta
 Työnumero: _____
 Pvm: 10.8.2022 klo 9.00-13.00
 Mittaaja: Teemu Kukkonen
 Ulkolämpötila: 22

Pohjalevyn koko		132mm
		200 mm
	X	300 mm

Koepiste nro.: **6,3** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 685 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
30		
	57	1,89
	67	2,2
	73	2,38
	78	2,56
	82	2,69
	84	2,77
	Tulos	2,77

Koepiste nro.: **6,4** Mitattava rakenne: Pohjamaa kasteltu
 PL 685 ja tiivistetty

E1	E2	Suhde
36		
	61	1,69
	69	1,92
	76	2,1
	78	2,16
	83	2,29
	87	2,39
	Tulos	2,39

Huomautukset

Liite 4. Suomi

Levykuormituskoe

Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 18.8.2022

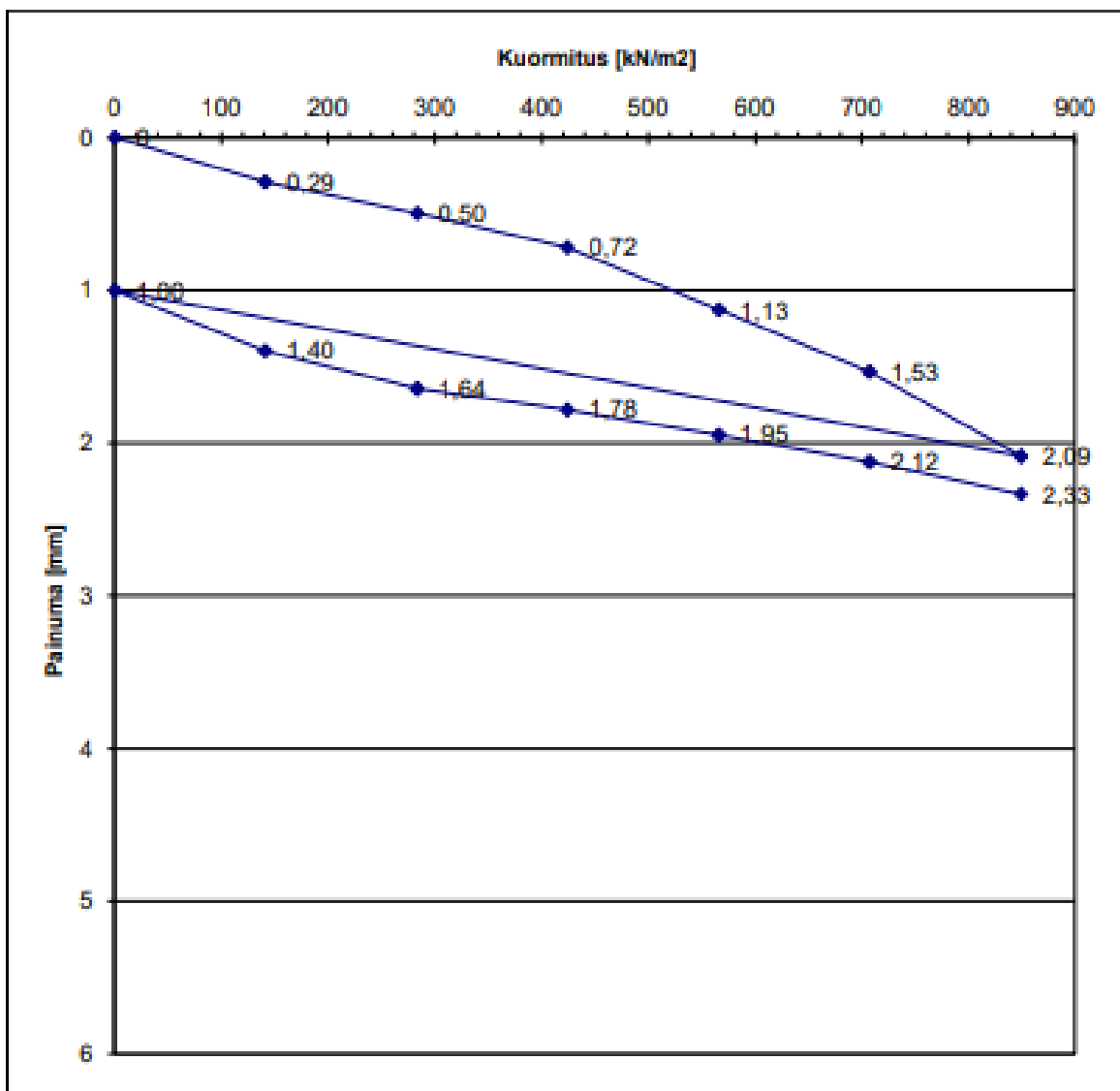
Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

1
Jakava
KaM
PL 722

Tulokset

Vaatimukset

$E_1 =$	102 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	197 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,94	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Suomi

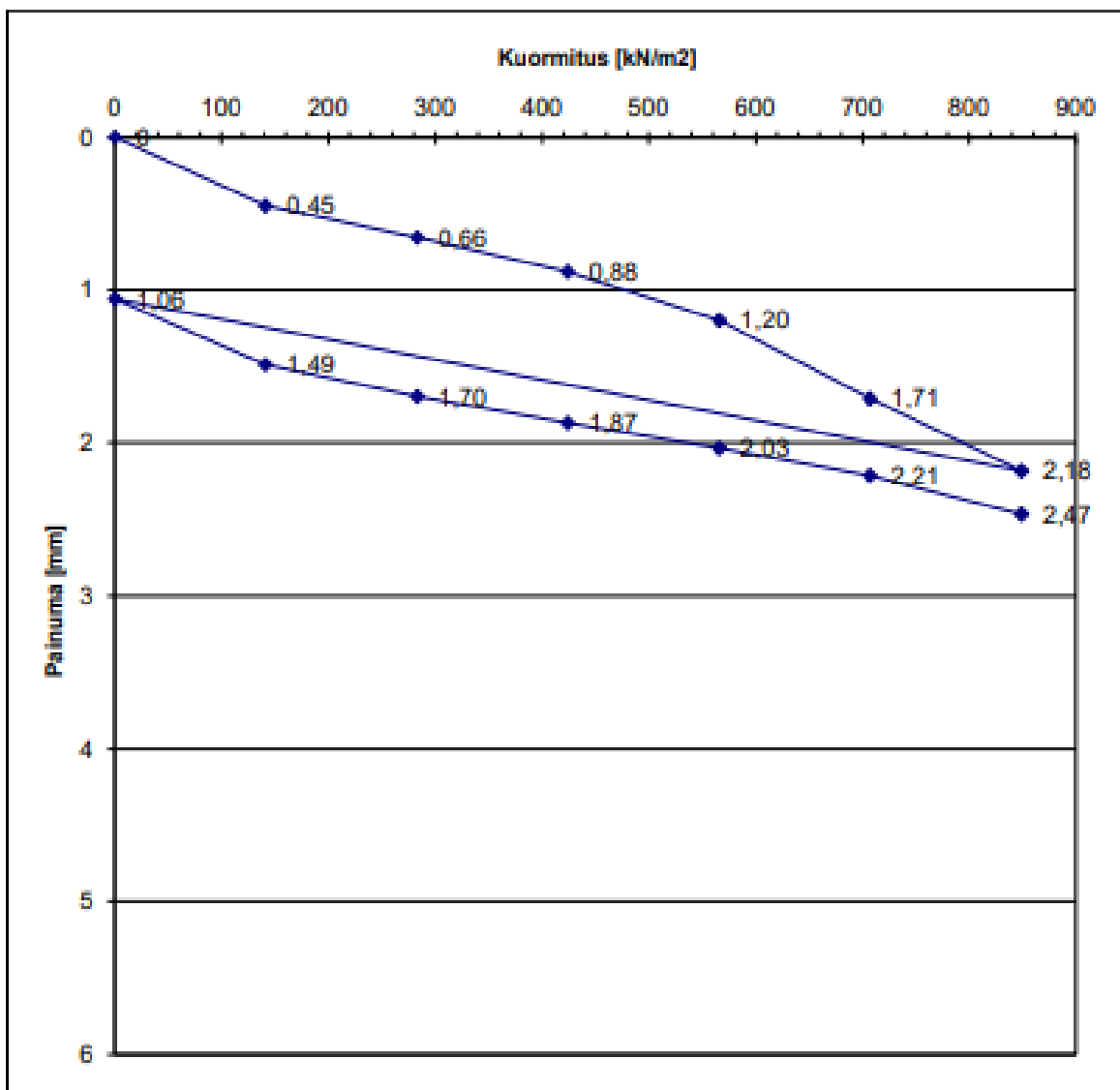
Levykuormituskoe

Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 1.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu **2**
 Kerros/Taso **Jakava**
 Kerroksen laatu **KaM**
 Sijainti **PL 720**

Vaatimukset

$E_1 =$	112 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	184 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,65	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Suomi

Levykuormituskoe

Työnumero

Piste/Paalu

3

Tilaaaja

Kerros/Taso

Jakava

Kohde

Karjakatu

Kerroksen laatu

KaM

Pvm

18.8.2022

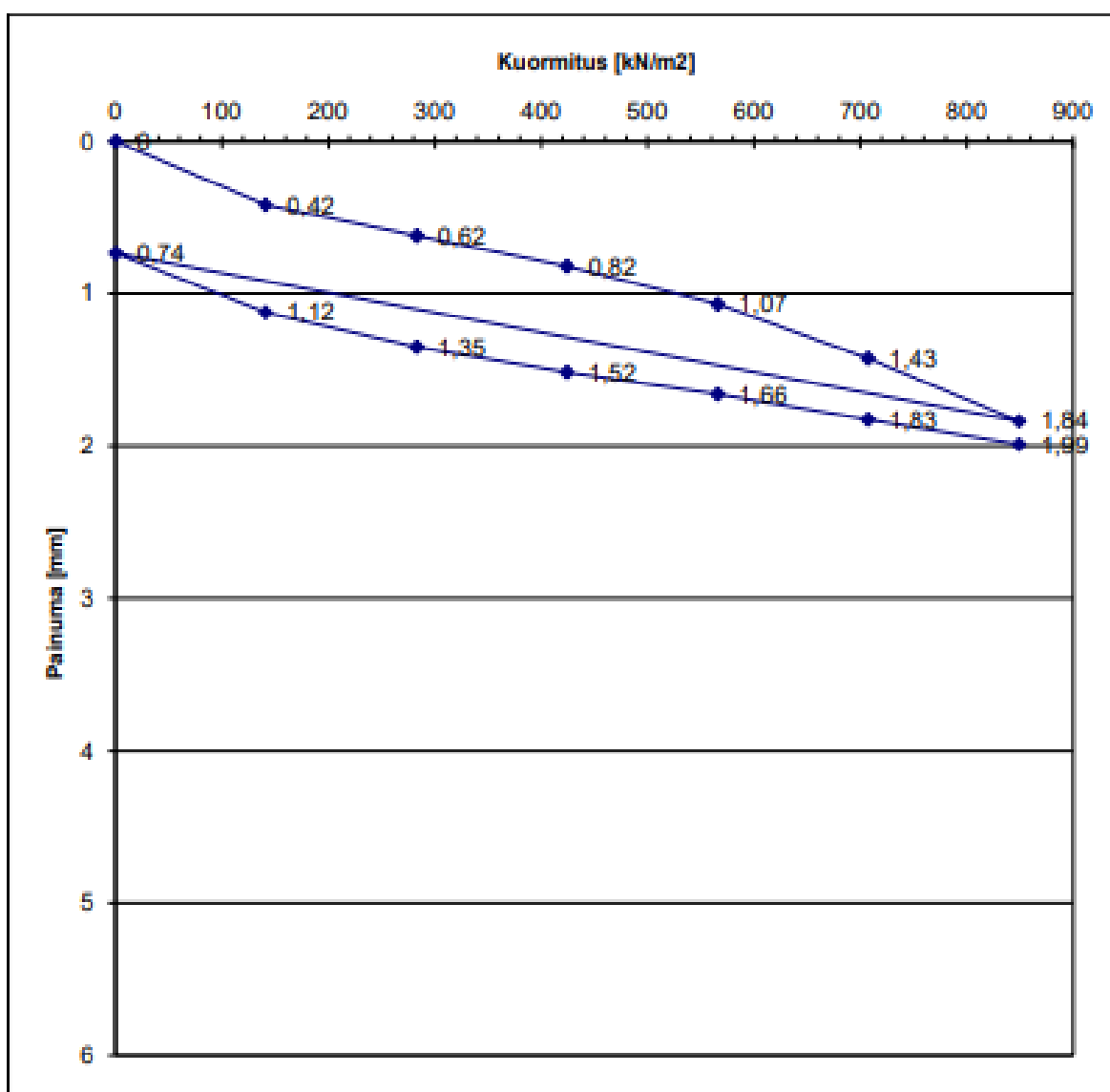
Sijainti

PL 718

Tulokset

Vaatimukset

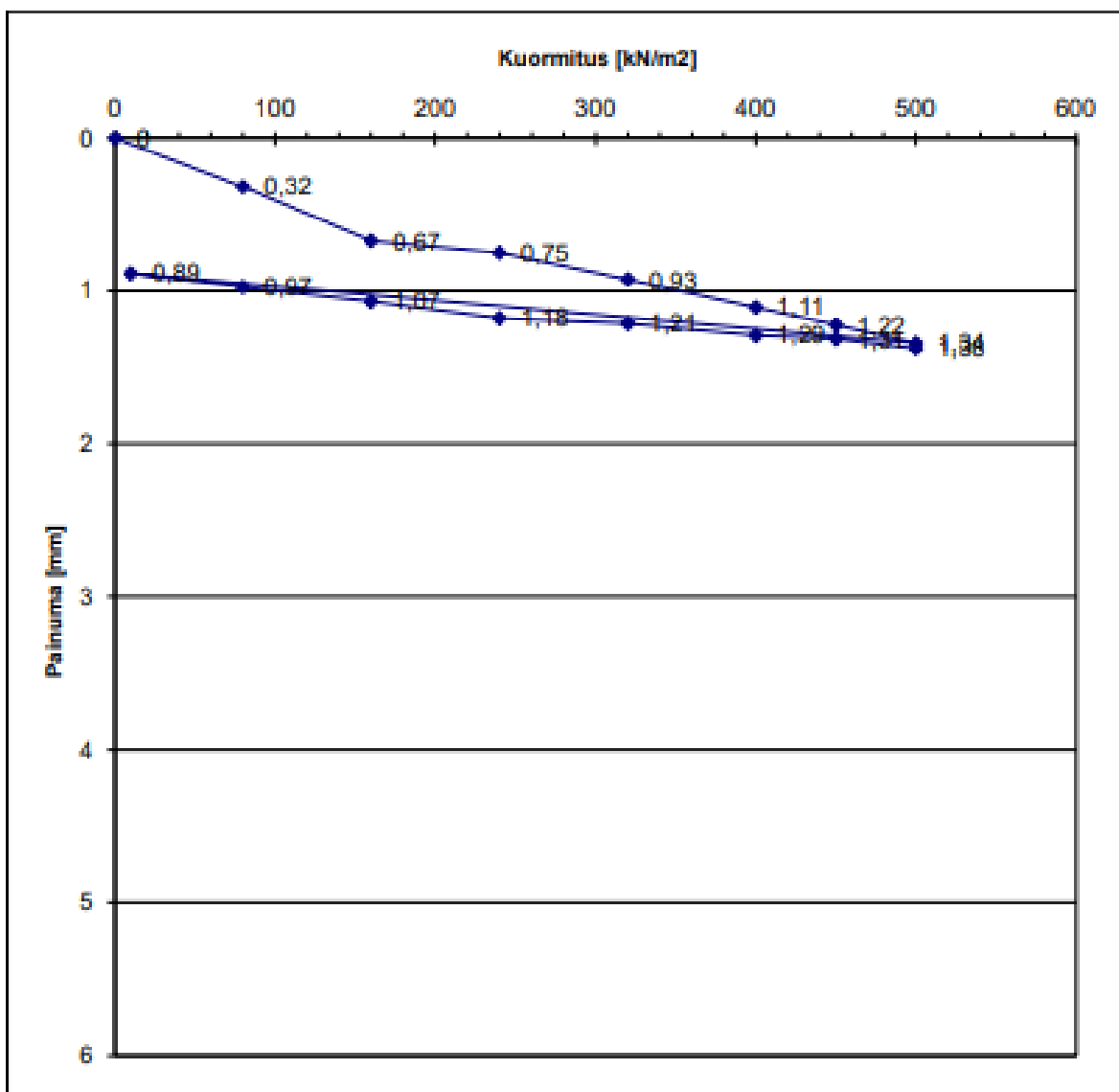
$E_1 =$	136 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	197 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,45	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

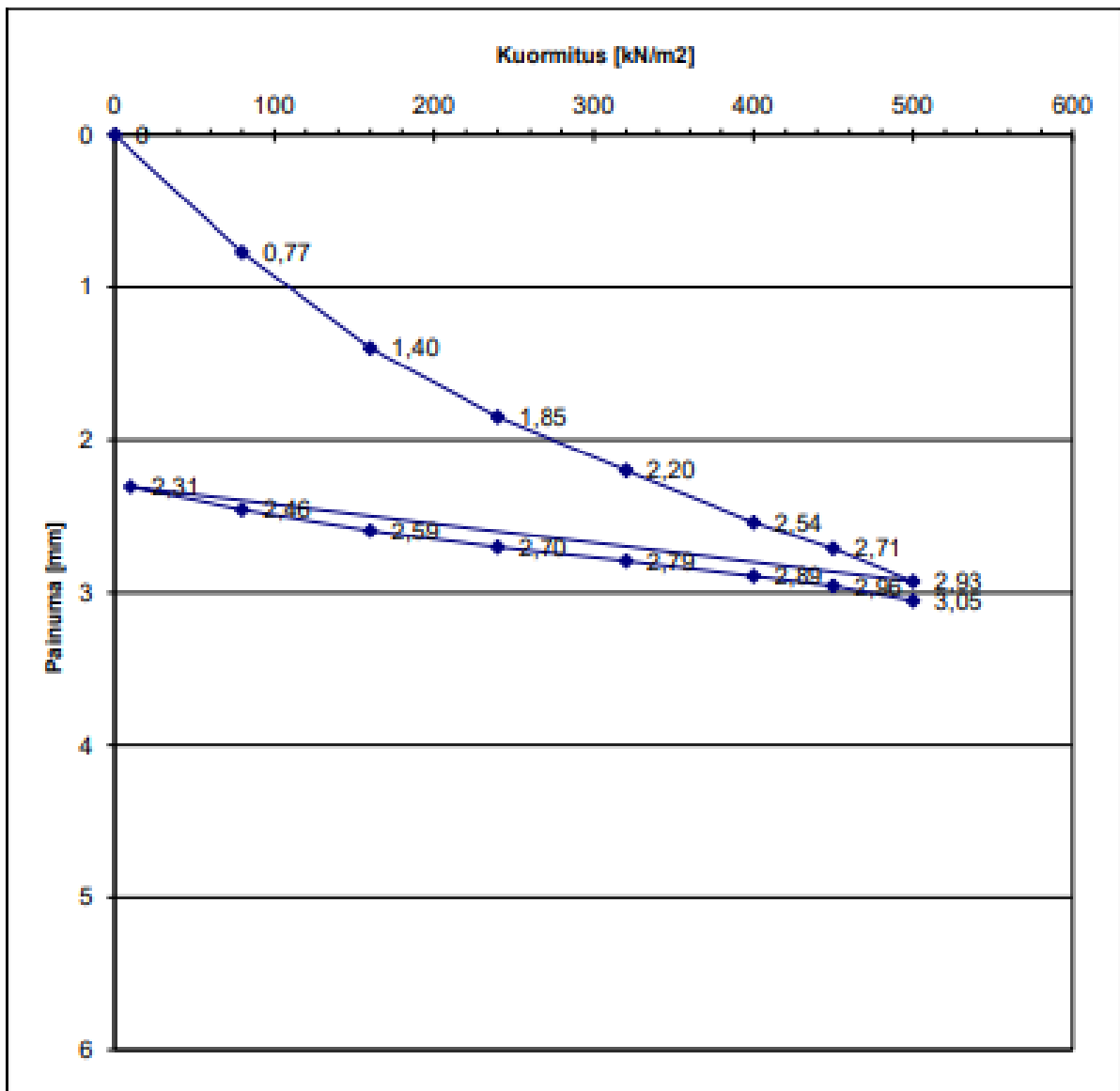
Työnumero	_____	Piste/Paalu	4
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	<u>Karjakatu</u>	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	<u>18.8.2022</u>	Sijainti	PL 720
Tulokset	Vaatimukset		
$E_1 =$	123 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	244 MN/m ²	$E_2 \geq$	174 MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,98	$E_2/E_1 \leq$	2,70



Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	5
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	18.8.2022	Sijainti	PL 714
Tulokset		Vaativukset	
$E_1=$	45 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2=$	177 MN/m ²	$E_2 \geq$	174 MN/m ²
$E_2/E_1=$	3,96	$E_2/E_1 \leq$	2,70

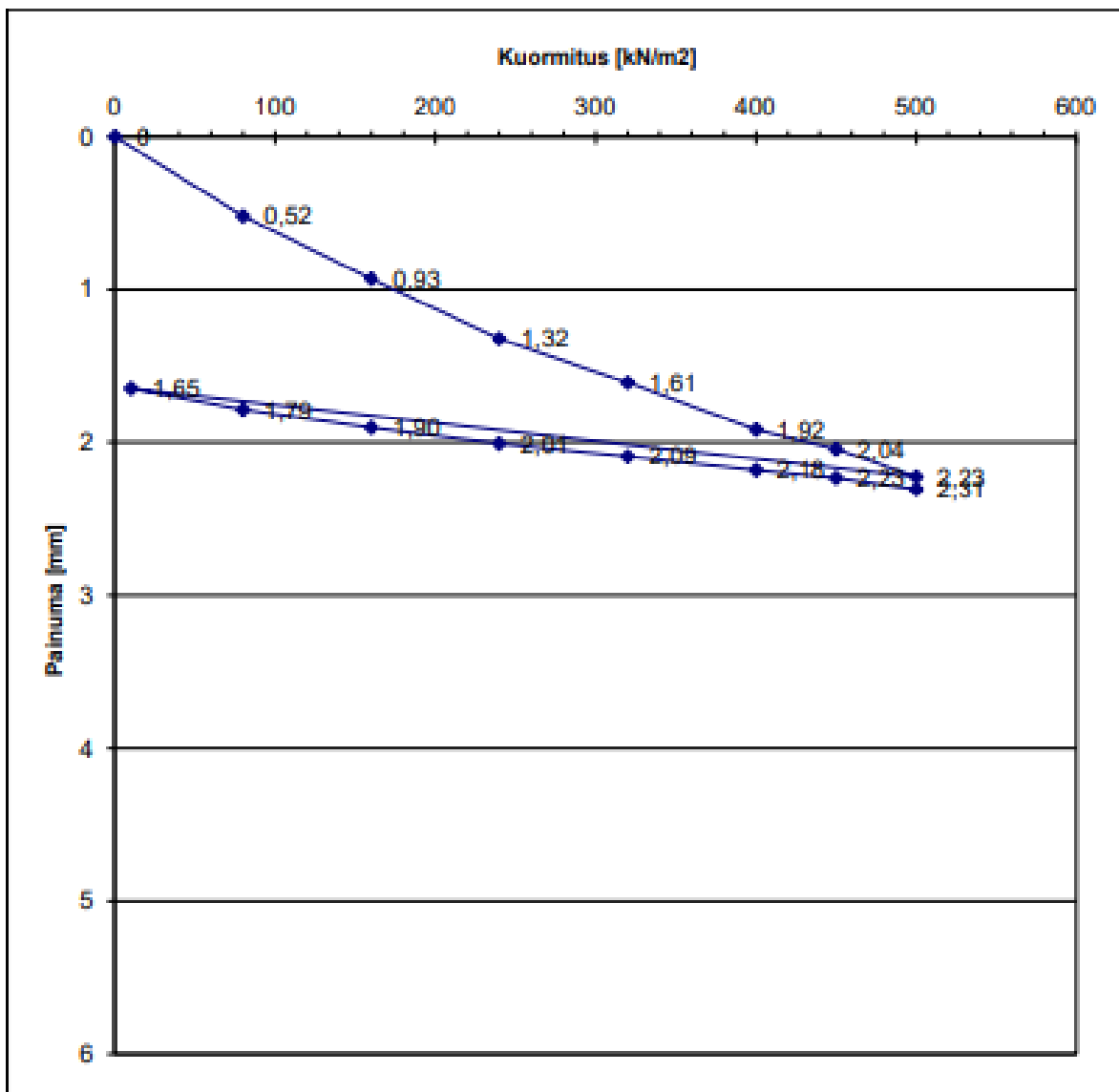


Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	6
Tilaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	18.8.2022	Sijainti	PL 712
Tulokset	Vaatimukset		

$E_1 =$	53 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	189 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	3,55	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Ruotsi

Levykuormituskoe

Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 18.8.2022

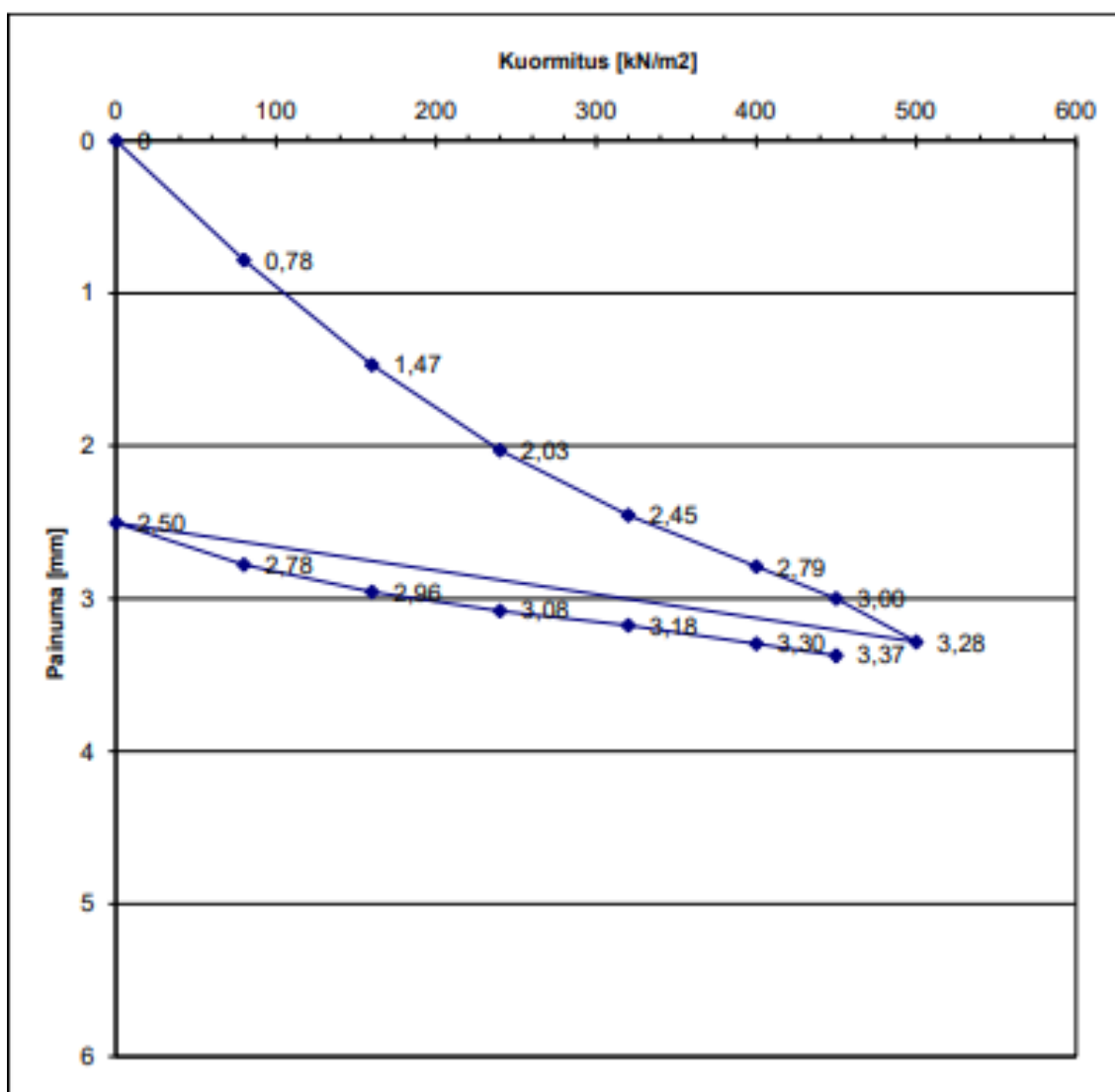
Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

7
Jakava
KaM
PL 700

Tulokset

Vaatimukset

$E_1 =$	38 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	150 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	4,00	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Ruotsi

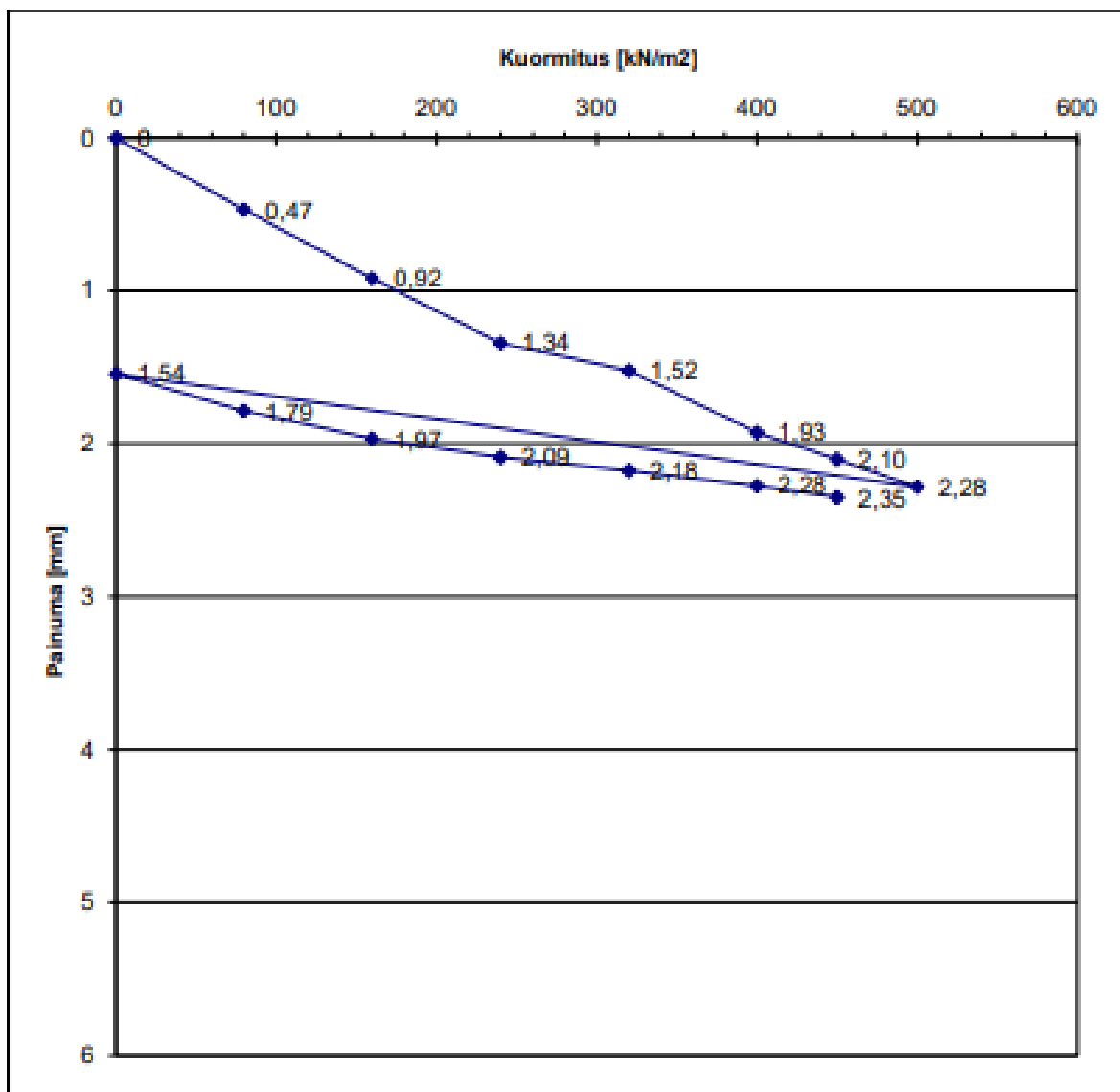
Levykuormituskoe

Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 18.8.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

8
Jakava
KaM
PL 700

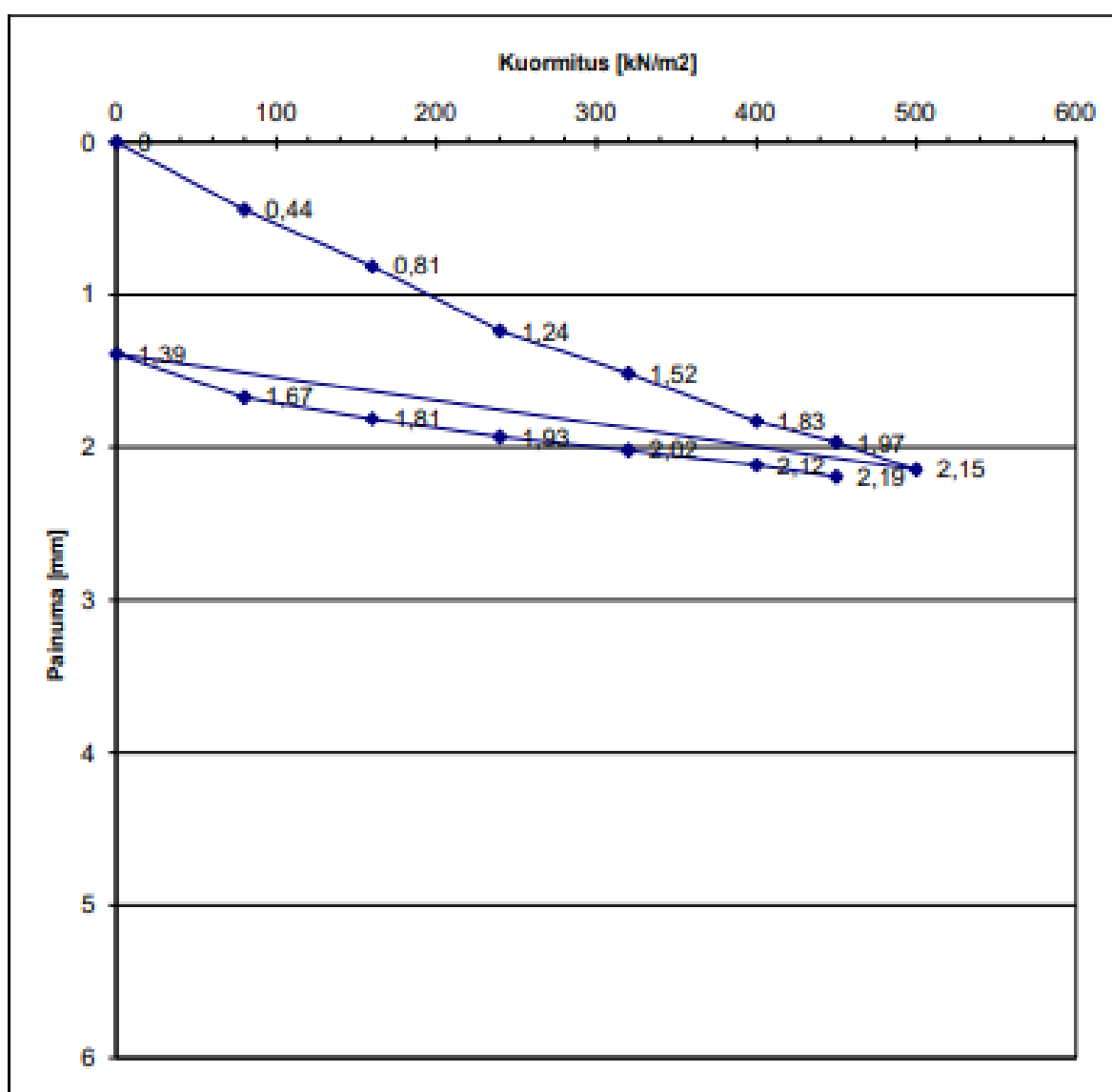
Vaatimukset				
$E_1 =$	55 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	155 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,80	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Ruotsi

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	9
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	18.8.2022	Sijainti	PL 698
Tulokset		Vaatimukset	
$E_1=$	52 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2=$	165 MN/m ²	$E_2 \geq$	174 MN/m ²
$E_2/E_1=$	3,19	$E_2/E_1 \leq$	2,70



Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaaaja _____

Kohde _____

Pvm _____

Tulokset _____

Karjakatu

18.8.2022

Piste/Paalu _____

Kerros/Taso _____

Kerroksen laatu _____

Sijainti _____

10

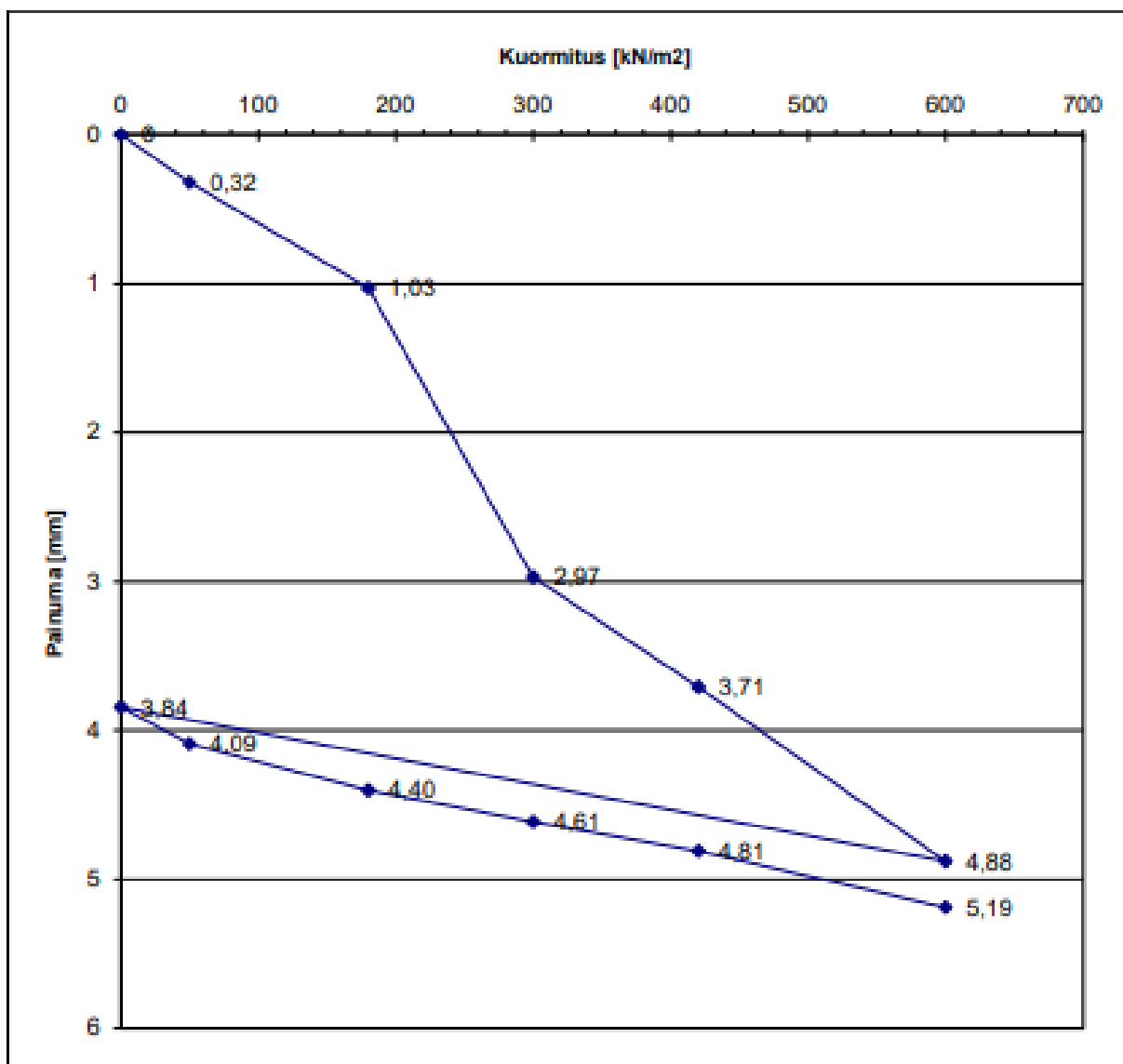
Jakava

KaM

PL 696

Vaatimukset

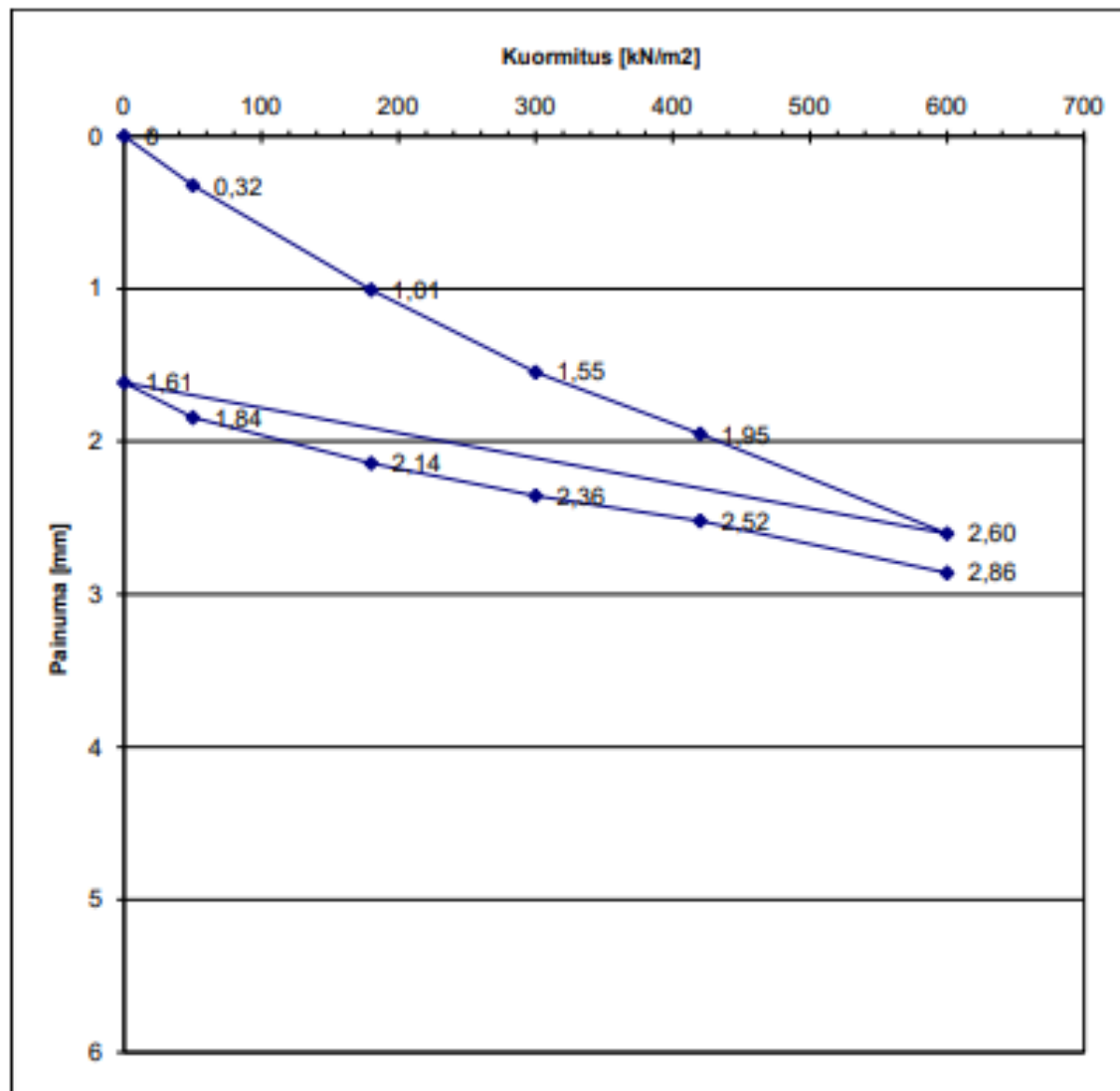
$E_1 =$	18 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	99 MN/m ²	$E_2 \geq$	174	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	5,58	$E_2/E_1 \leq$	2,70	



Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

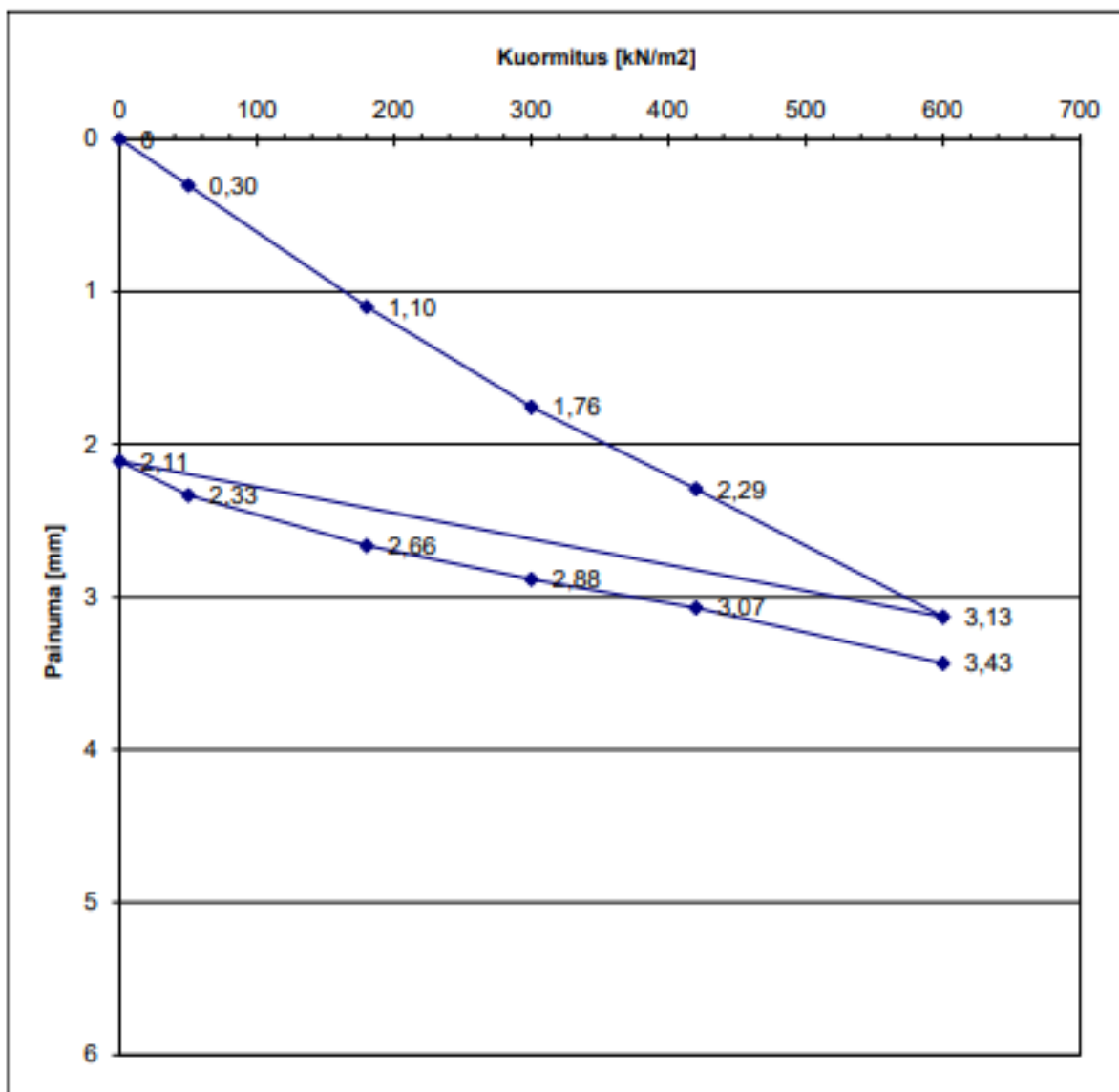
Työnumero	_____	Piste/Paalu	11
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	18.8.2022	Sijainti	PL694
Tulokset		Vaativukset	
$E_1 =$	57 MN/m²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	143 MN/m²	$E_2 \geq$	174 MN/m²
$E_2/E_1 =$	2,50	$E_2/E_1 \leq$	2,70



Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

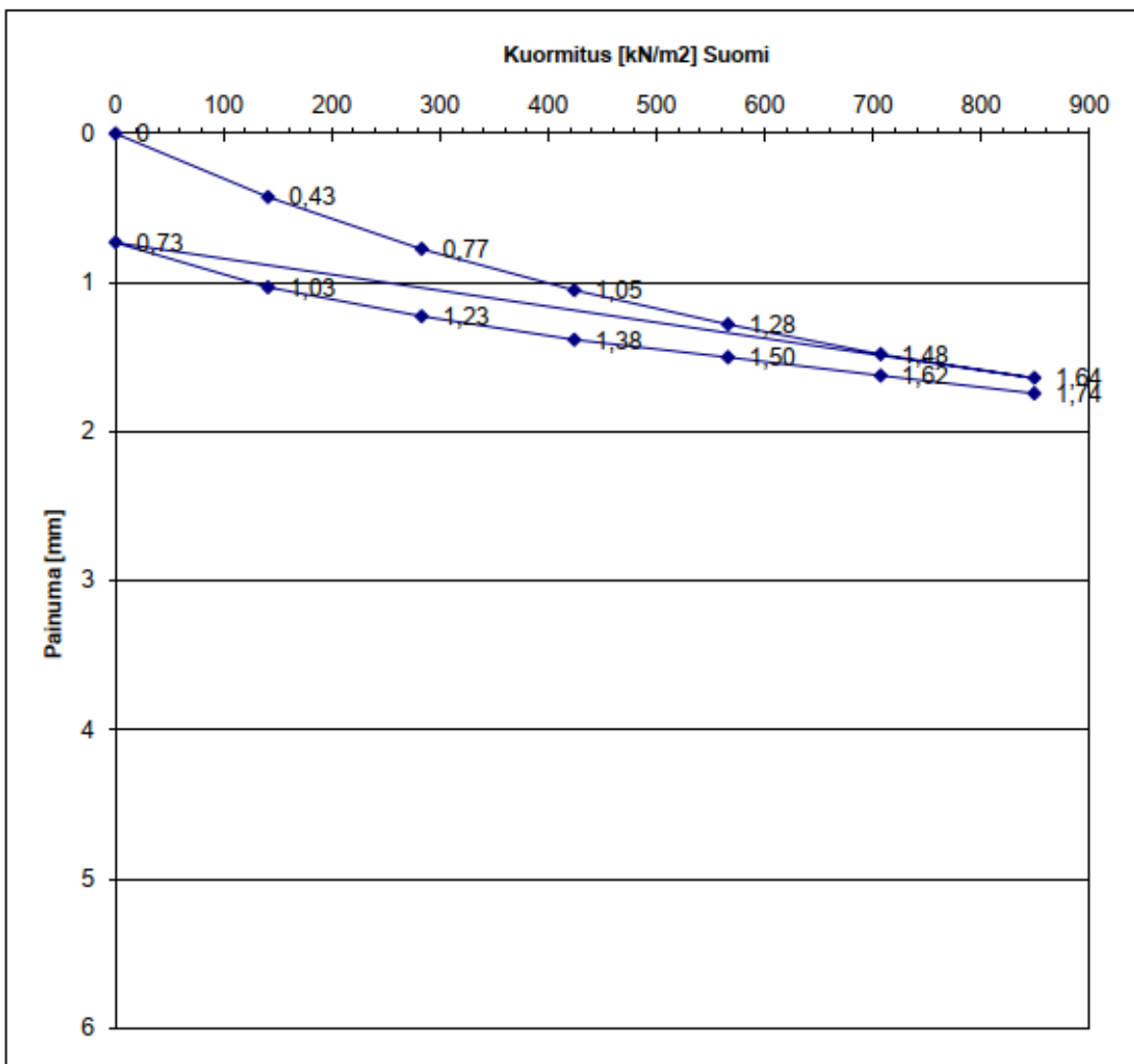
Työnumero	_____	Piste/Paalu	12
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Jakava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	18.8.2022	Sijainti	PL692
Tulokset		Vaativukset	
$E_1 =$	27 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	133 MN/m ²	$E_2 \geq$	174 MN/m ²
$E_2/E_1 =$	4,99	$E_2/E_1 \leq$	2,70



Liite 4. Suomi

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	1
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	<u>Karjakatu</u>	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	<u>1.9.2022</u>	Sijainti	PL 722
Tulokset	Vaativukset		
$E_1 =$	124 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	227 MN/m ²	$E_2 \geq$	206 MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,83	$E_2/E_1 \leq$	2,50



Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaaaja _____

Kohde _____

Pvm _____

Tulokset _____

Karjakatu

1.9.2022

Piste/Paalu

Kerros/Taso

Kerroksen laatu

Sijainti

2

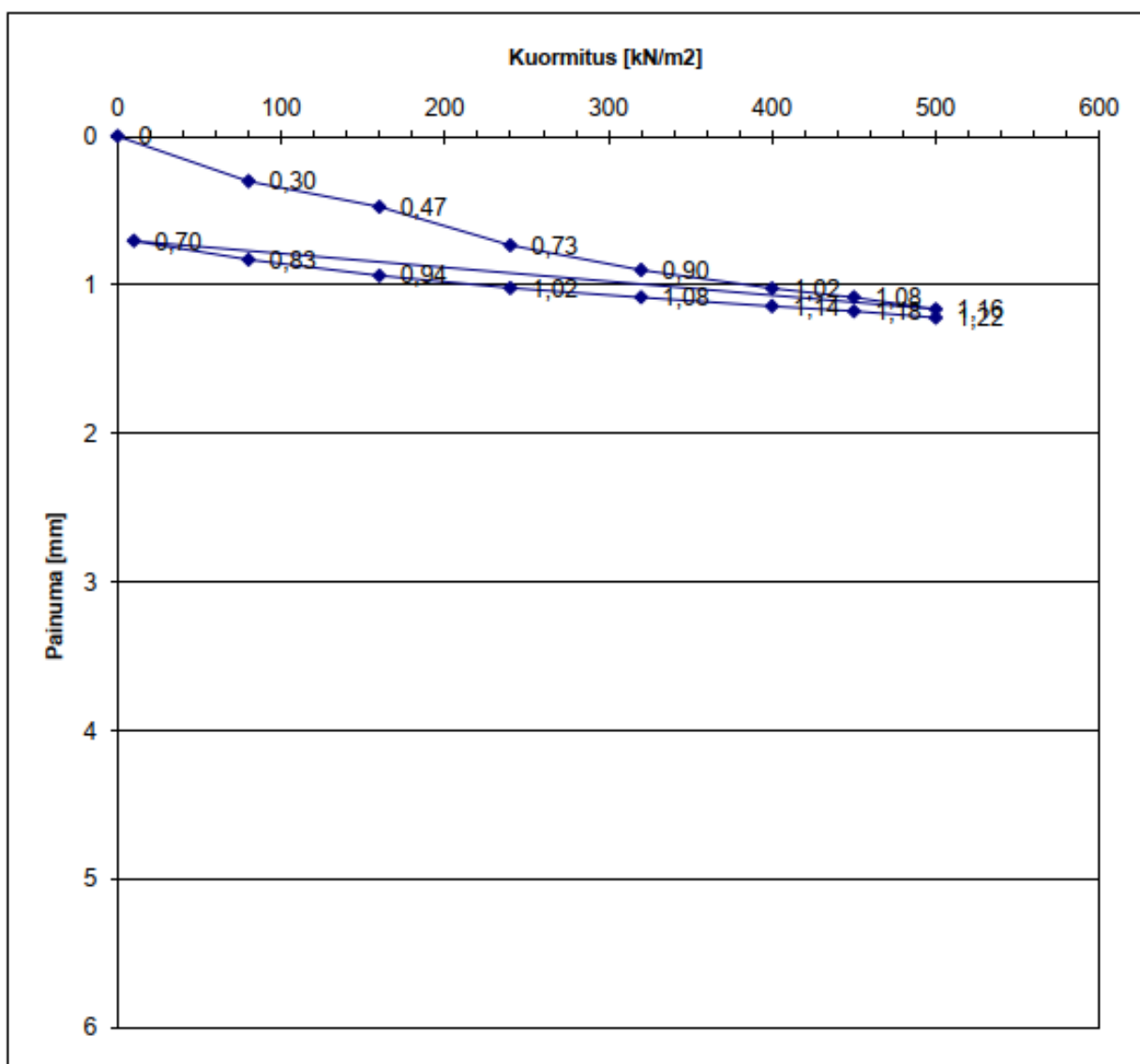
Kantava

KaM

PL 720

Vaativukset

$E_1 =$	91 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	213 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,34	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Ruotsi

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaaaja _____

Kohde _____

Pvm _____

Tulokset _____

Karjakatu

1.9.2022

Piste/Paalu _____

Kerros/Taso _____

Kerroksen laatu _____

Sijainti _____

3

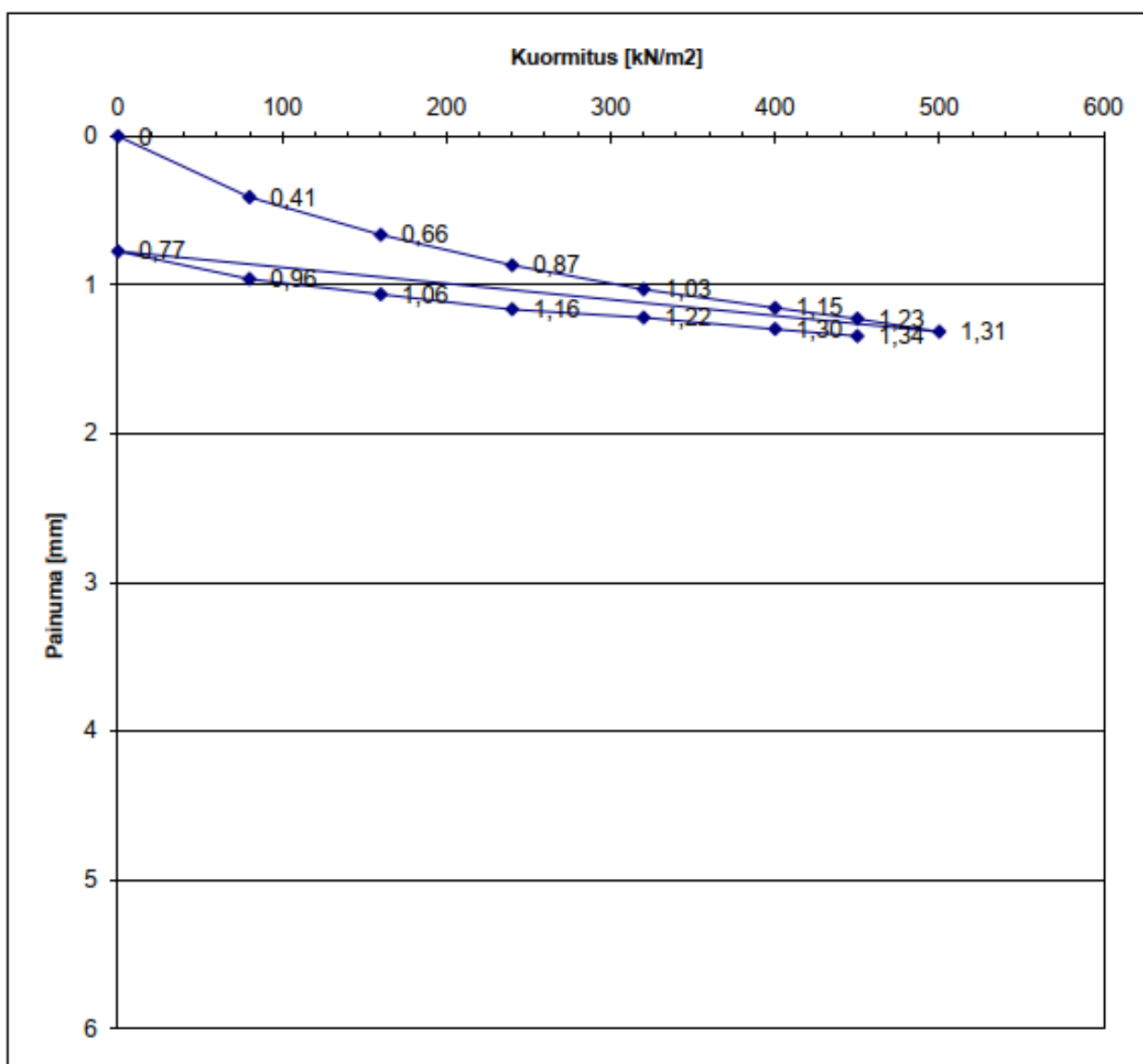
Kantava

KaM

PL 718

Vaatimukset

$E_1 =$	101 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	218 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,16	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

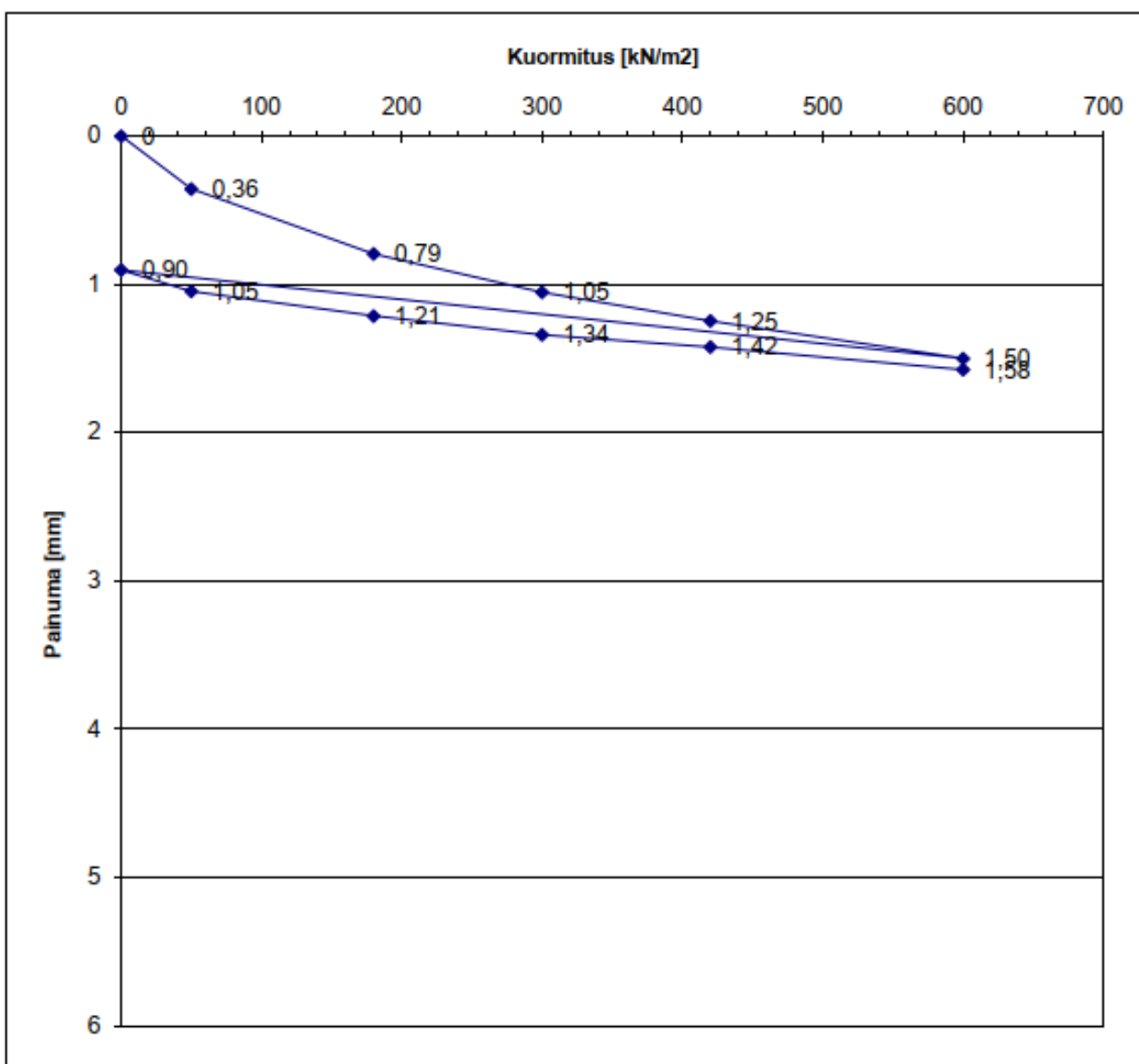
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 1.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

4
Kantava
KaM
PL 716

Vaatimukset

$E_1 =$	119 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	257 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,16	$E_2/E_1 \leq$	2,50	

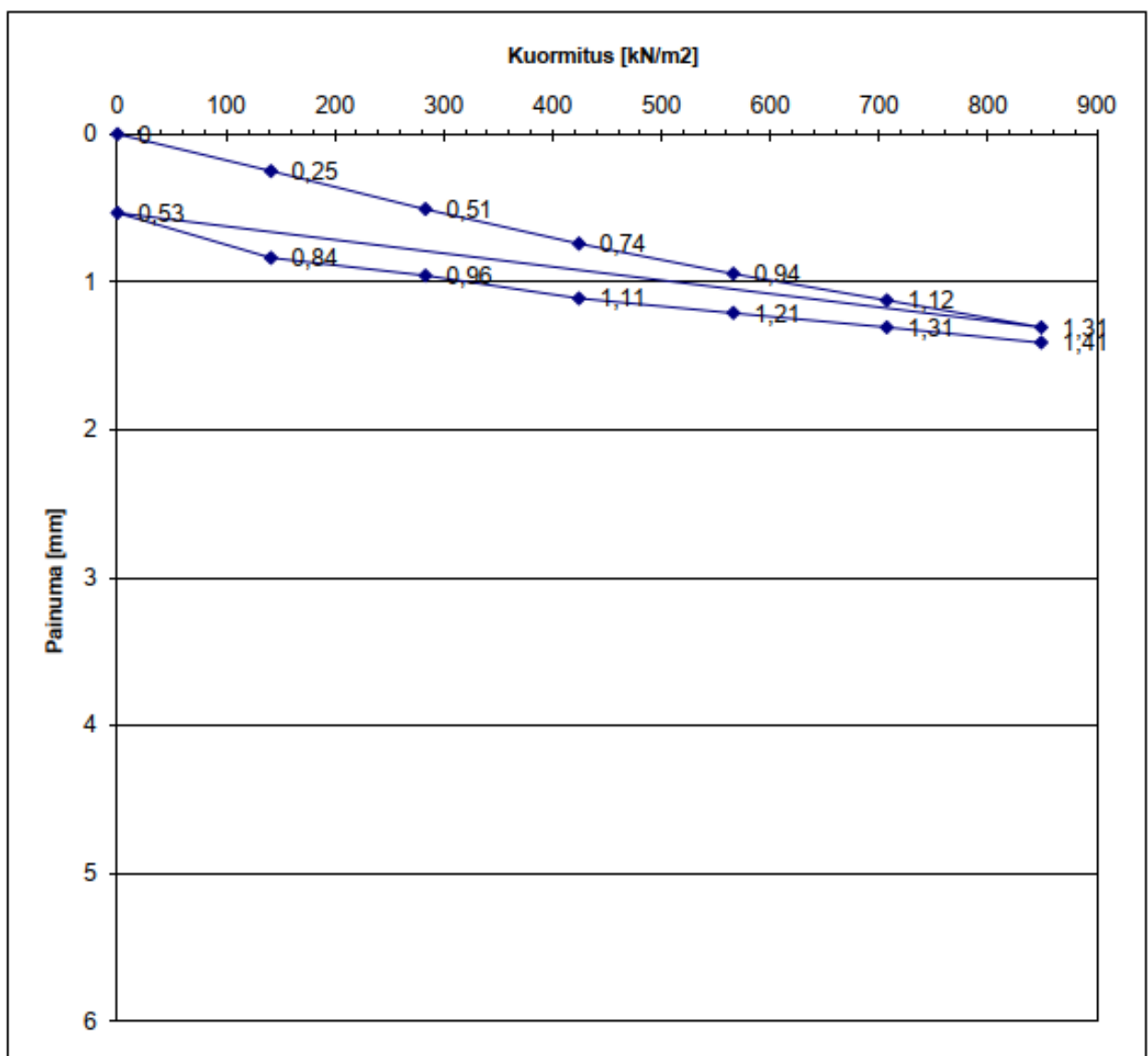


Liite 4. Suomi

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	5
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	<u>Karjakatu</u>	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	<u>1.9.2022</u>	Sijainti	PL 714
Tulokset		Vaatimukset	

$E_1 =$	146 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	258 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,77	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaaaja _____

Kohde _____

Pvm _____

Tulokset _____

Karjakatu

1.9.2022

Piste/Paalu

Kerros/Taso

Kerroksen laatu

Sijainti

6

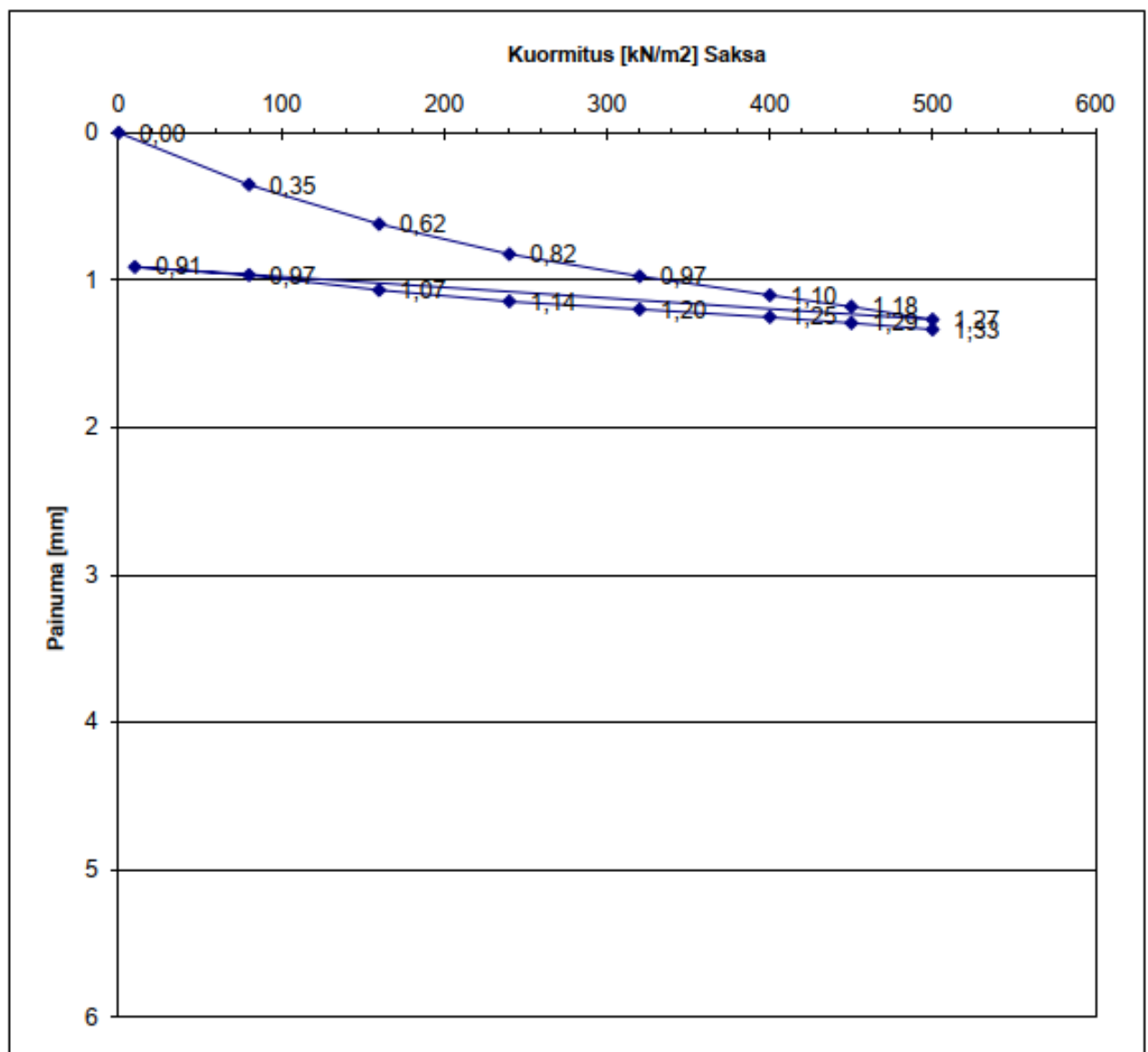
Kantava

KaM

PL 712

Vaatimukset

$E_1 =$	103 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	277 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,68	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Ruotsi

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaaja _____

Kohde _____

Pvm _____

Tulokset _____

Karjakatu

1.9.2022

Piste/Paalu _____

Kerros/Taso _____

Kerroksen laatu _____

Sijainti _____

7

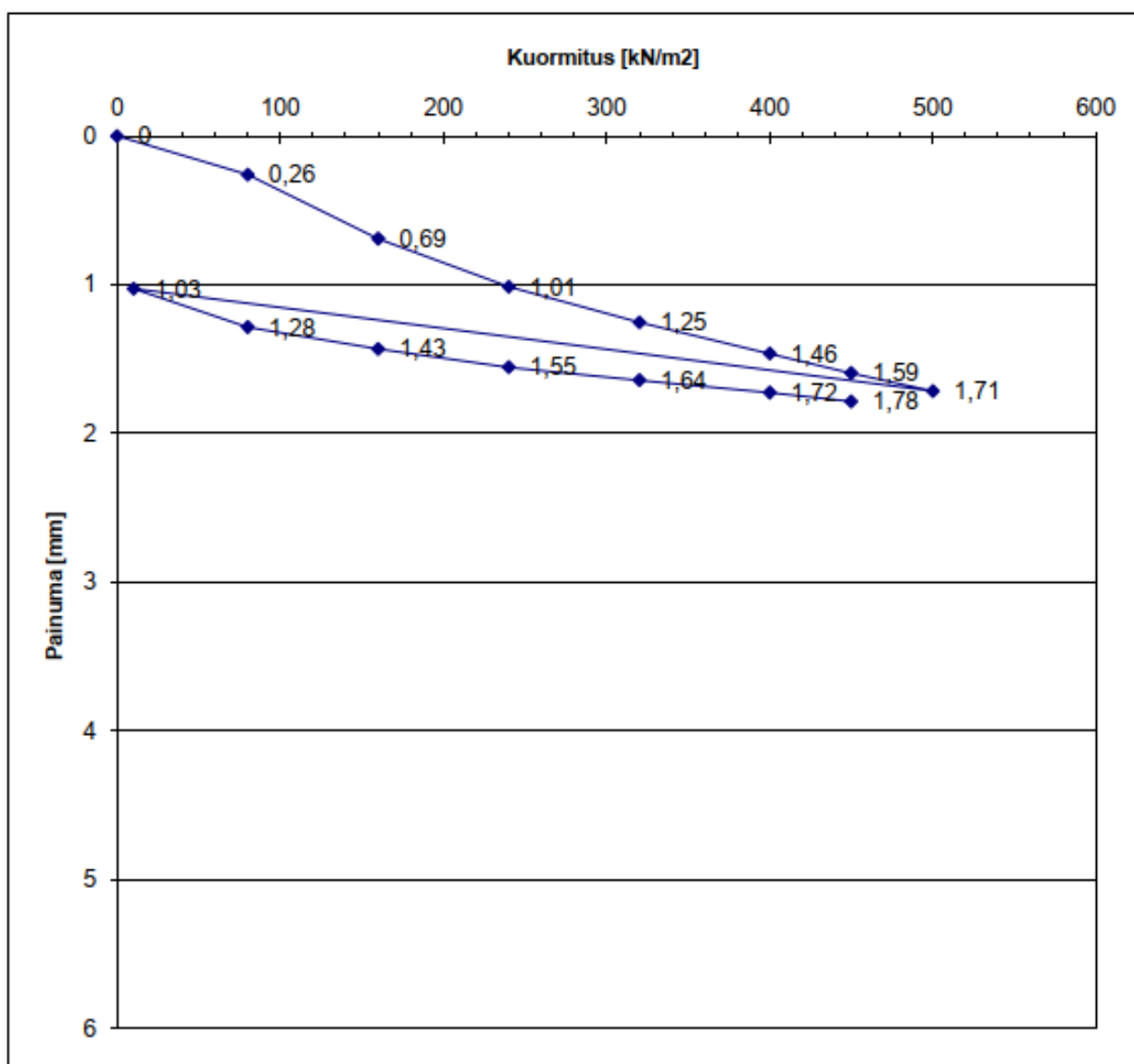
Kantava

KaM

PL 702

Vaatimukset

$E_1 =$	65 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	162 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,50	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

Työnumero _____

Tilaja _____

Kohde

Karjakatu

Pvm

1.9.2022

Tulokset

Piste/Paalu

8

Kerros/Taso

Kantava

Kerroksen laatu

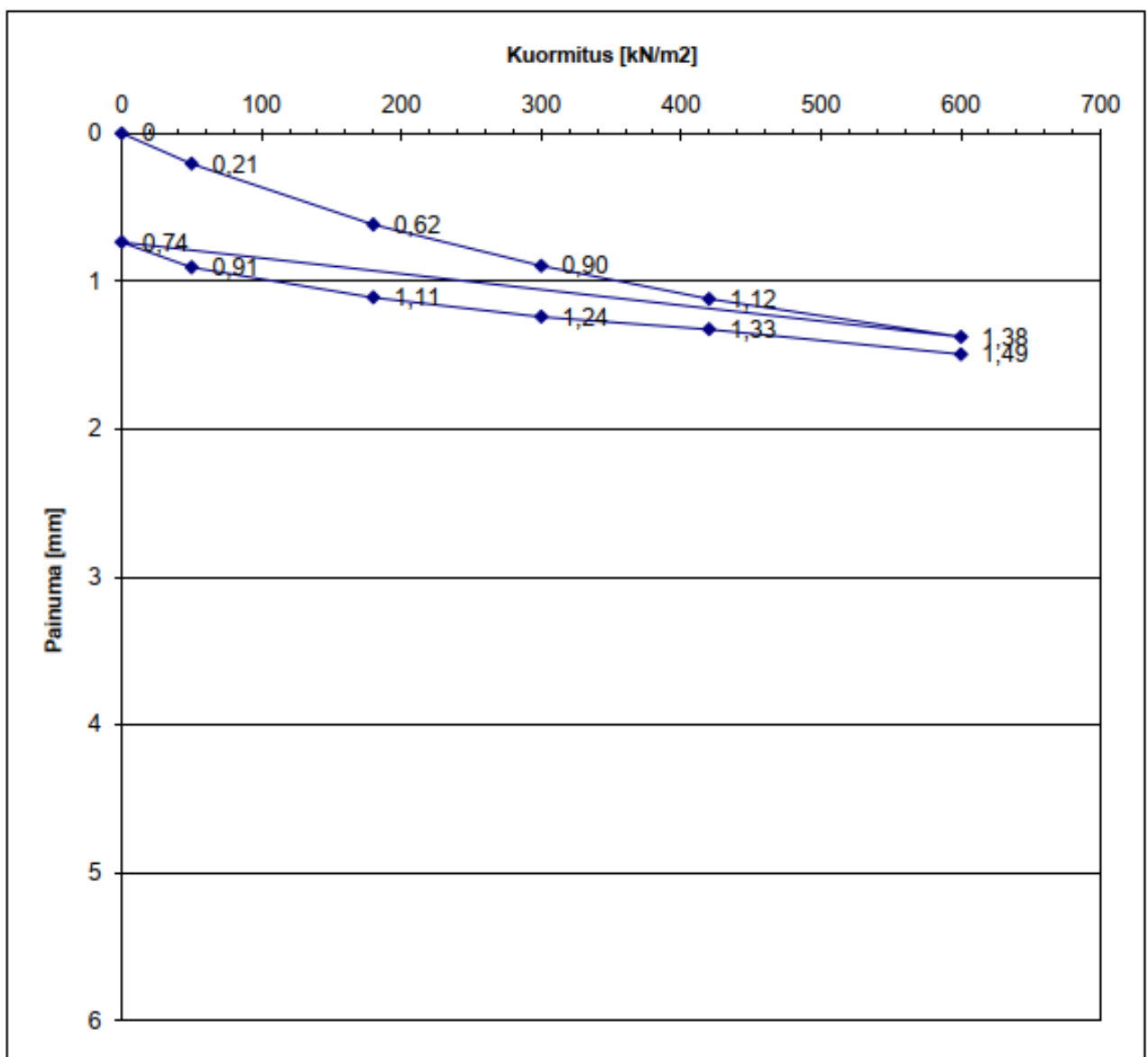
KaM

Sijainti

PL 700

Vaatimukset

$E_1 =$	107 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	249 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,32	$E_2/E_1 \leq$	2,50	

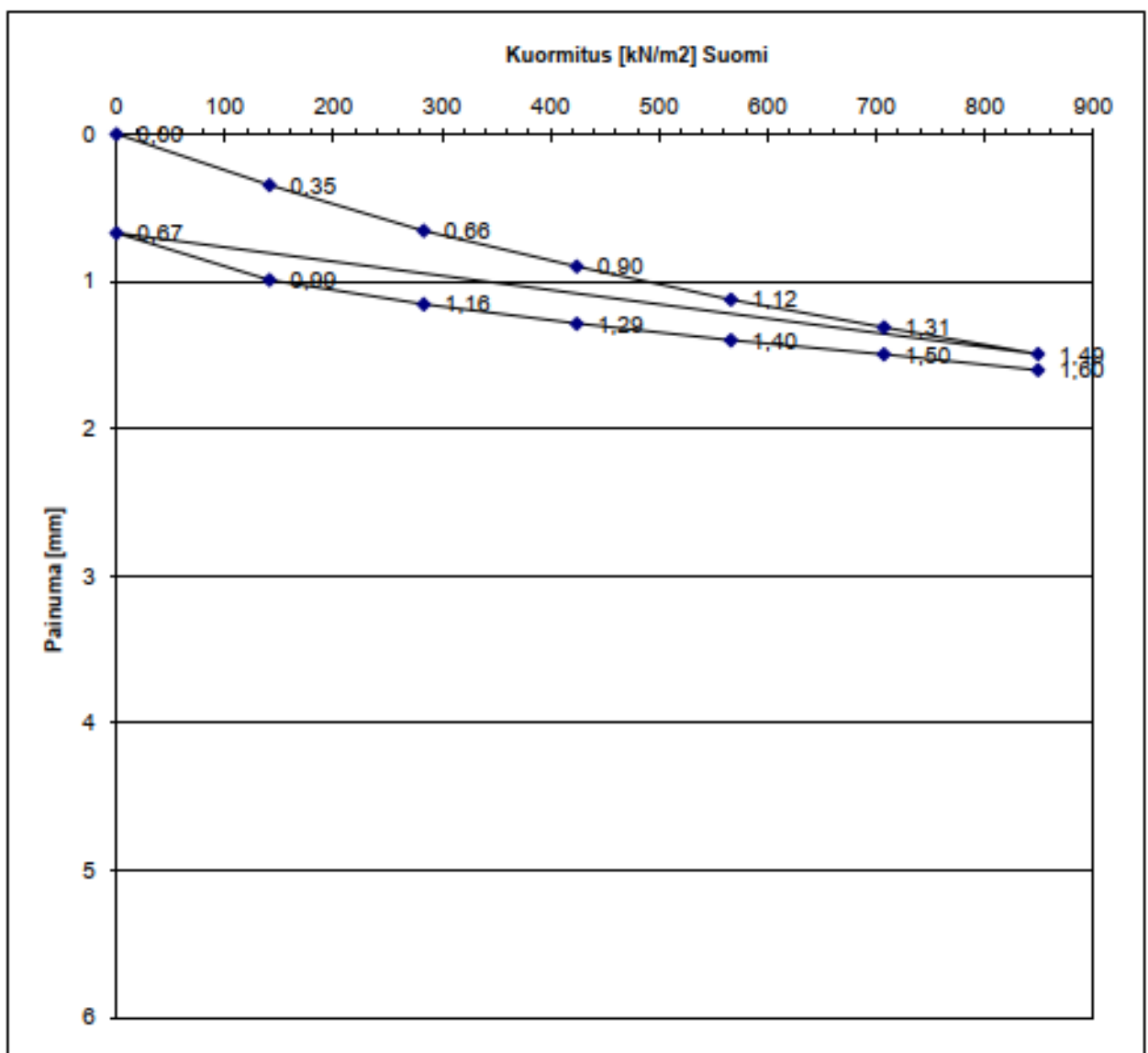


Liite 4. Suomi

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	9
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	1.9.2022	Sijainti	PL 698
Tulokset		Vaatimukset	

$E_1 =$	135 MN/m ²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	258 MN/m ²	$E_2 \geq$	206 MN/m ²
$E_2/E_1 =$	1,91	$E_2/E_1 \leq$	2,50



Liite 4. Saksa

Levykuormituskoe

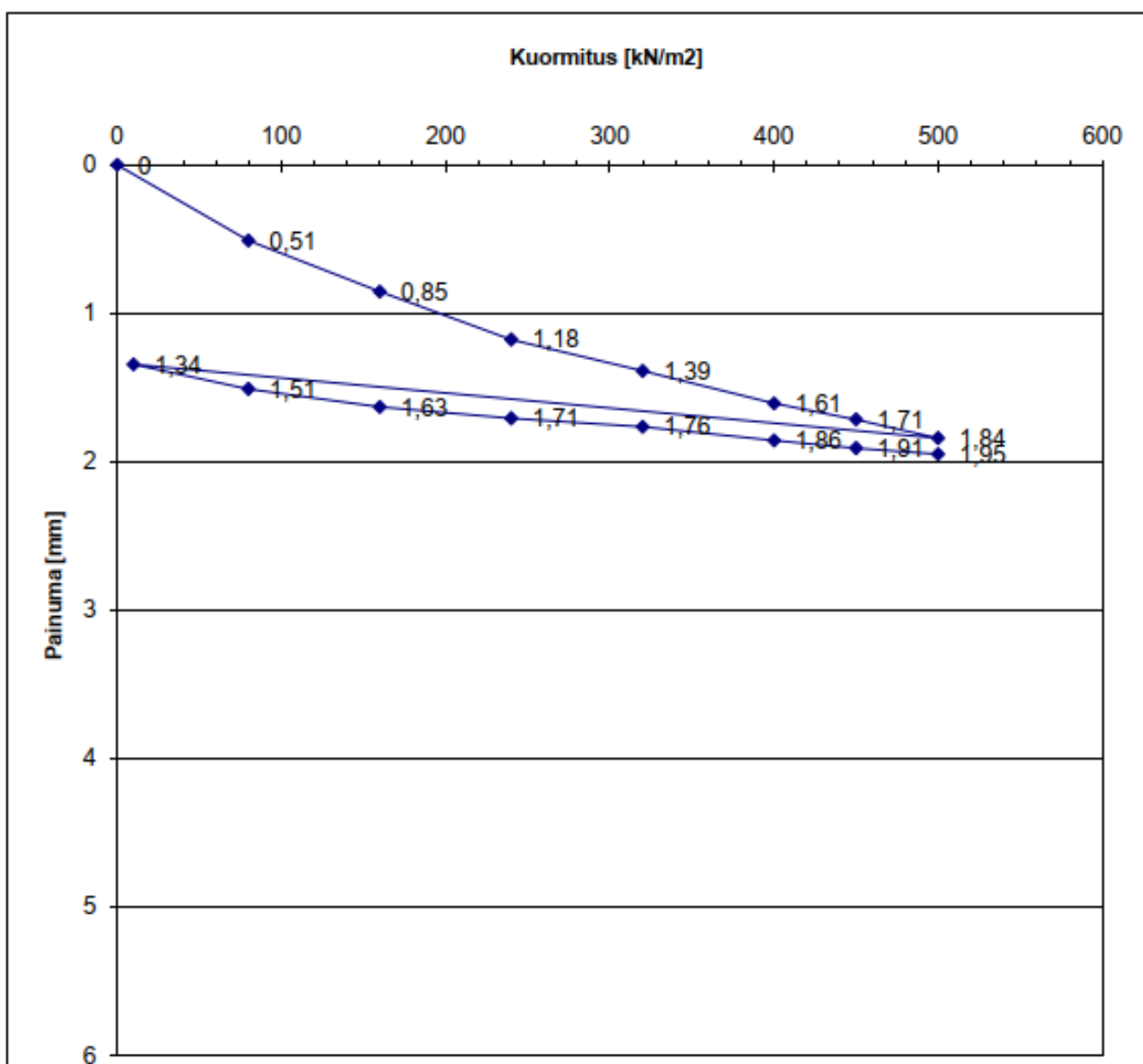
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 1.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

10
Kantava
KaM
PL 696

Vaatimukset

$E_1 =$	68 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	245 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	3,59	$E_2/E_1 \leq$	2,50	

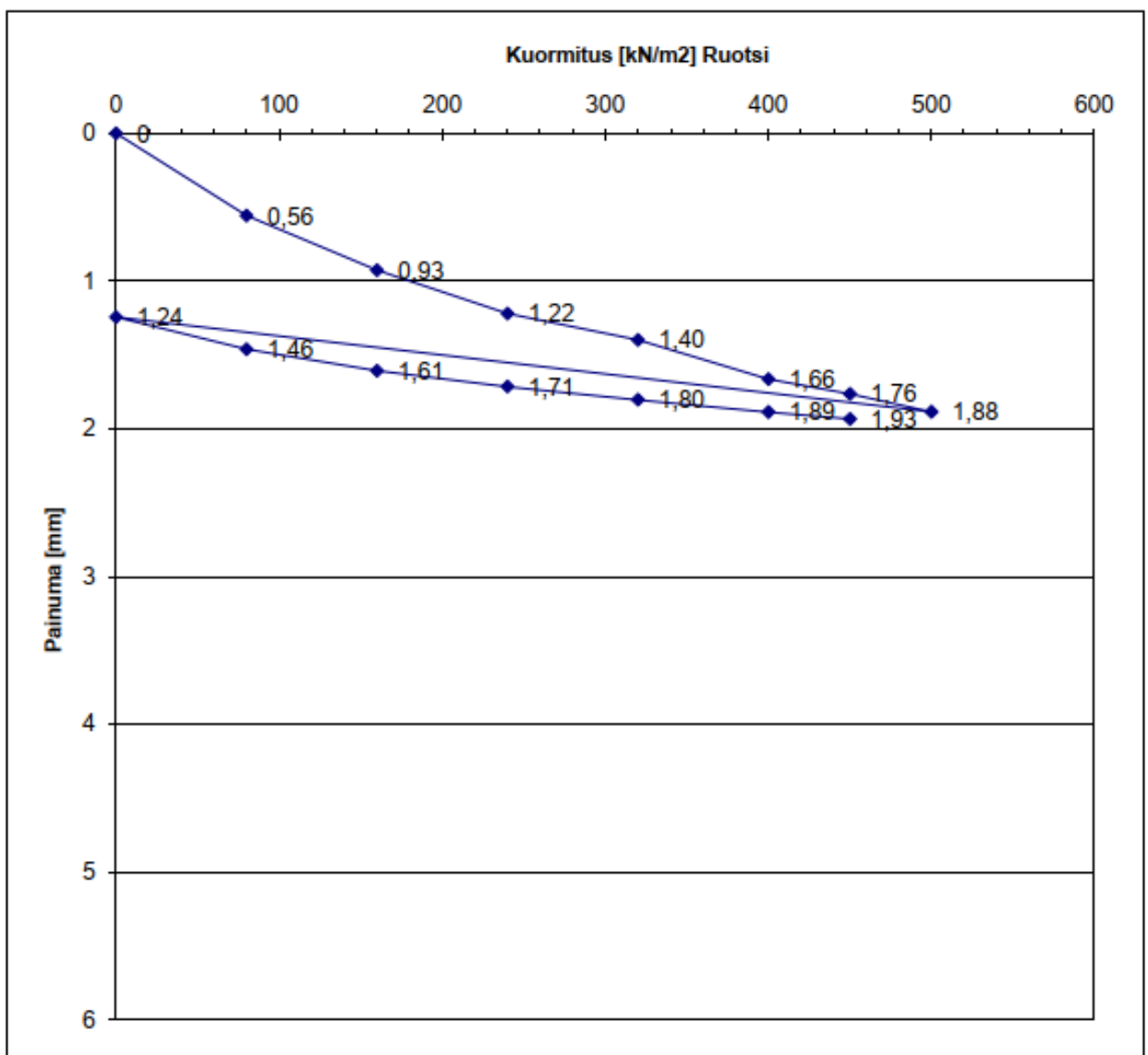


Liite 4. Ruotsi

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	11
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	1.9.2022	Sijainti	PL 694
Tulokset		Vaativukset	

$E_1 =$	73 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	171 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,34	$E_2/E_1 \leq$	2,50	

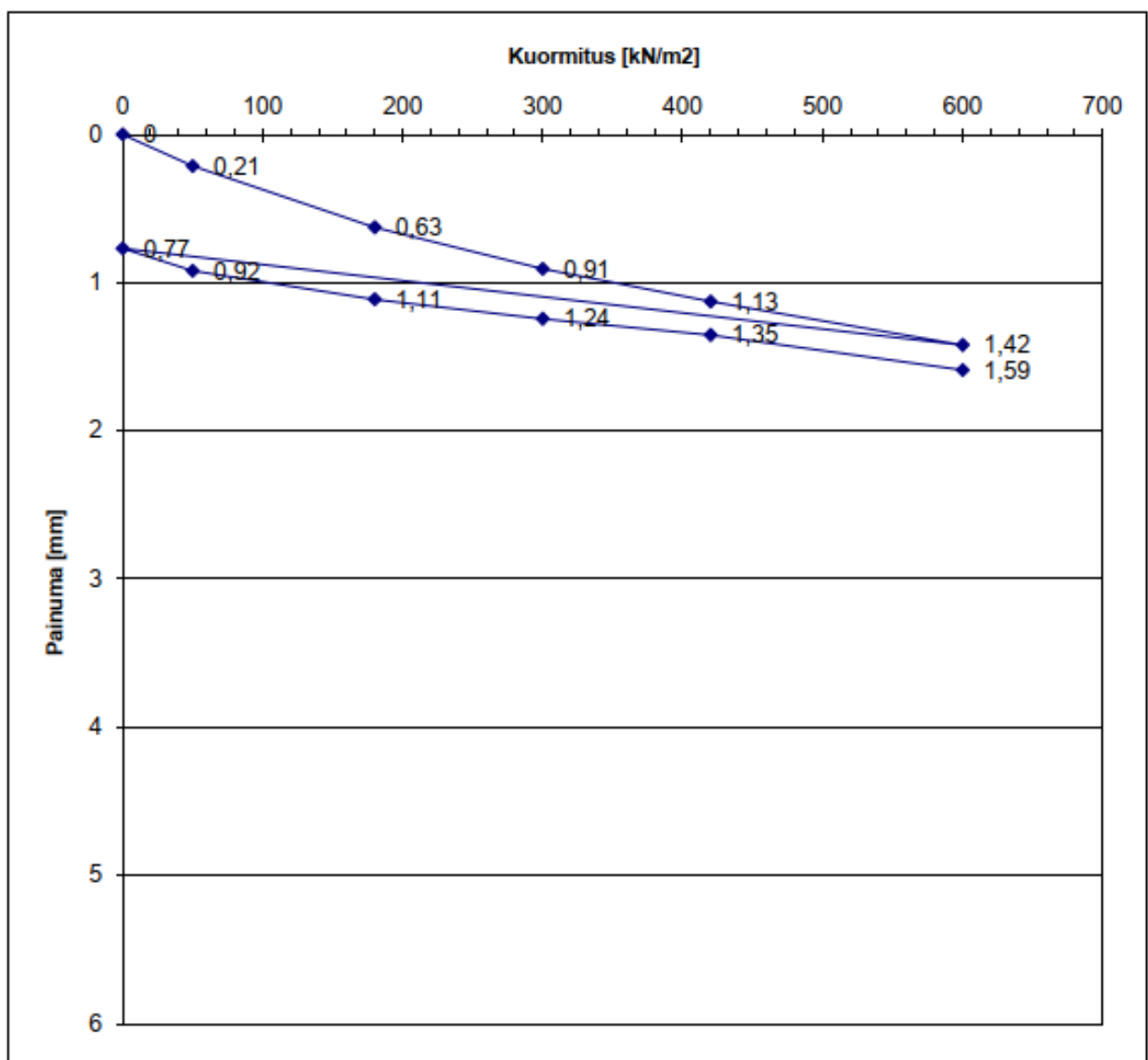


Liite 4. Norja

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	12
Tilaaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	Karjakatu	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	1.9.2022	Sijainti	PL692
Tulokset		Vaativukset	

$E_1 =$	68 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	225 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	3,31	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Suomi (kuorma-autosta)

Levykuormituskoee

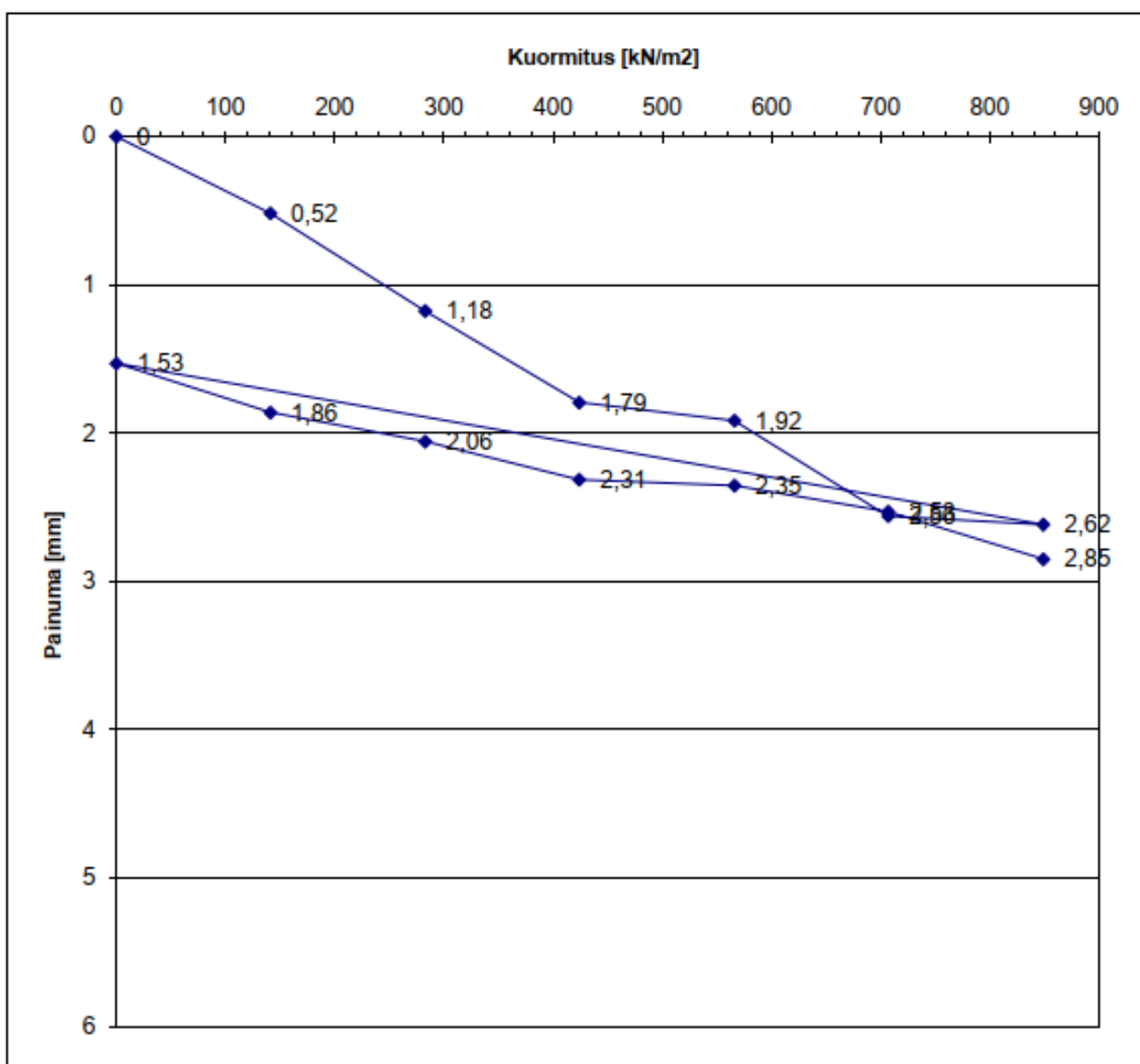
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 5.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu
 Kerros/Taso
 Kerroksen laatu
 Sijainti

1
Kantava
KaM
PL 722

Vaatimukset

$E_1 =$	76 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	206 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,69	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



HUOM! Jousituksen paineilmatasosäätö muutti kuormitustasoja kuormituksen kasvaessa, jolloin tulokset eivät ole vertailukelpoisia.

RAMBOLL

Liite 4. Suomi (kuorma-autosta)

Levykuormituskoee

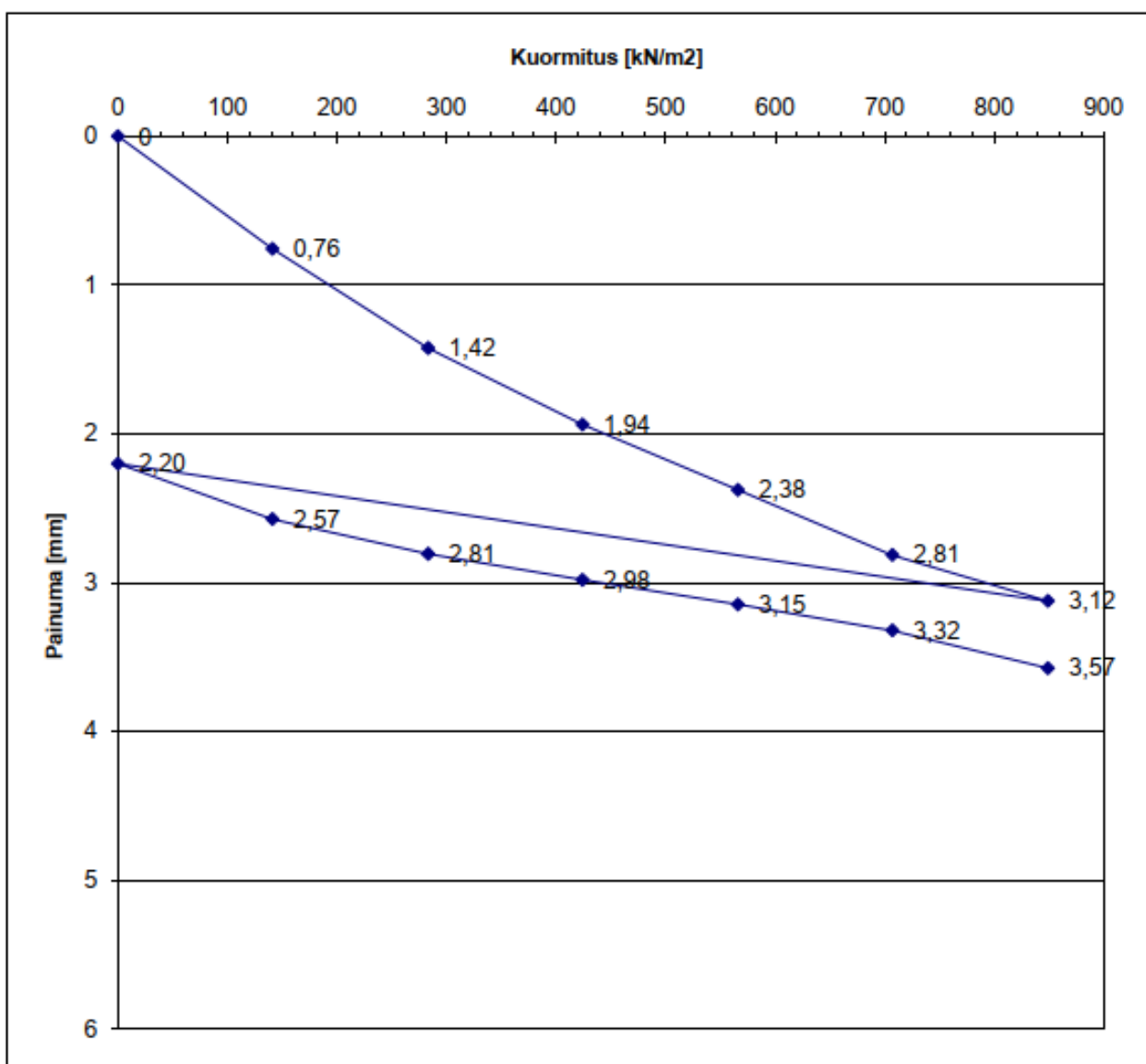
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 5.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

2
Kantava
KaM
PL 720

Vaatimukset

$E_1 =$	65 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	181 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,79	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Saksa (kuorma-autosta)

Levykuormituskoe

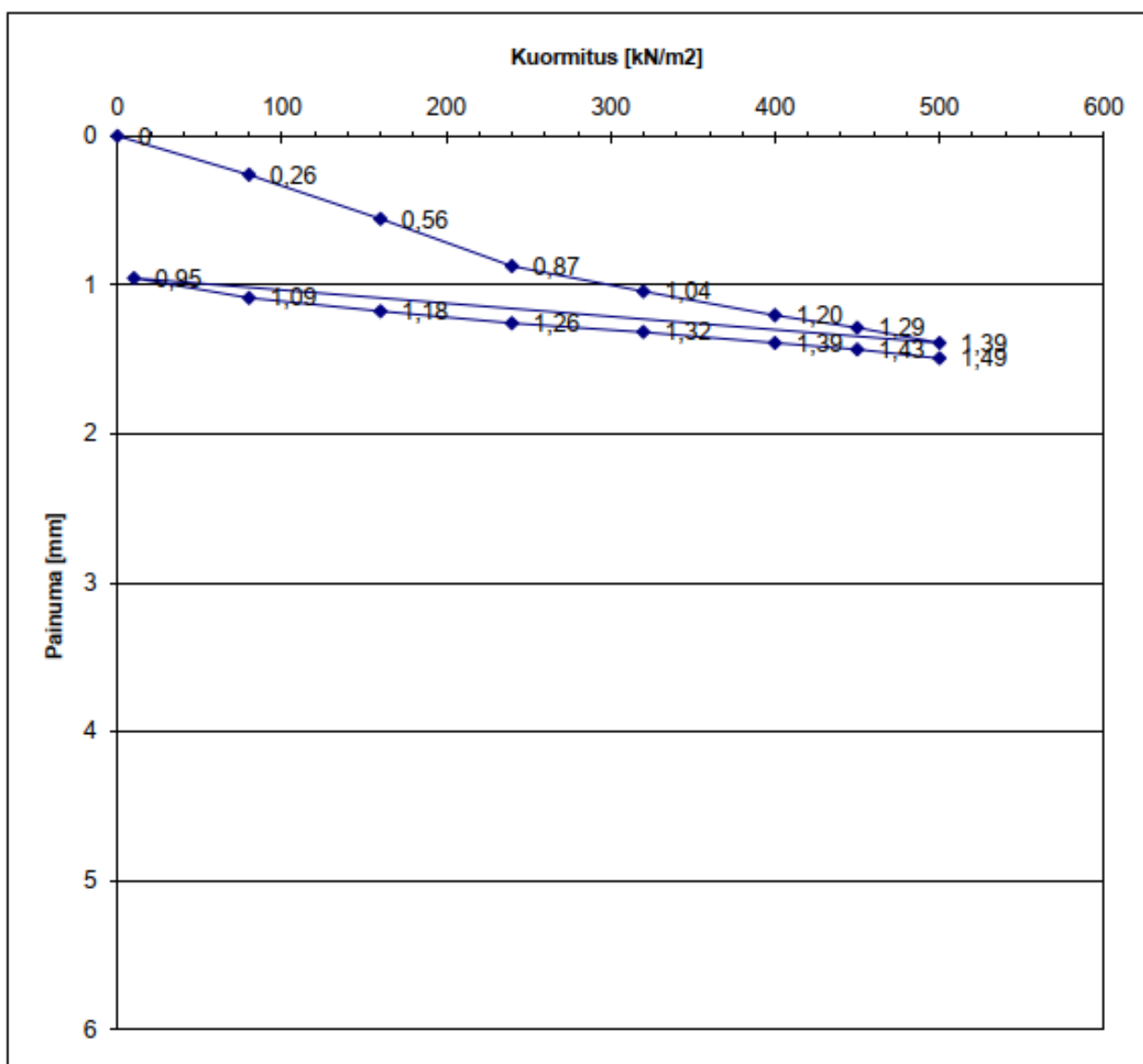
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 5.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

3
Kantava
KaM
PL 718

Vaatimukset

$E_1 =$	77 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	252 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	3,27	$E_2/E_1 \leq$	2,50	

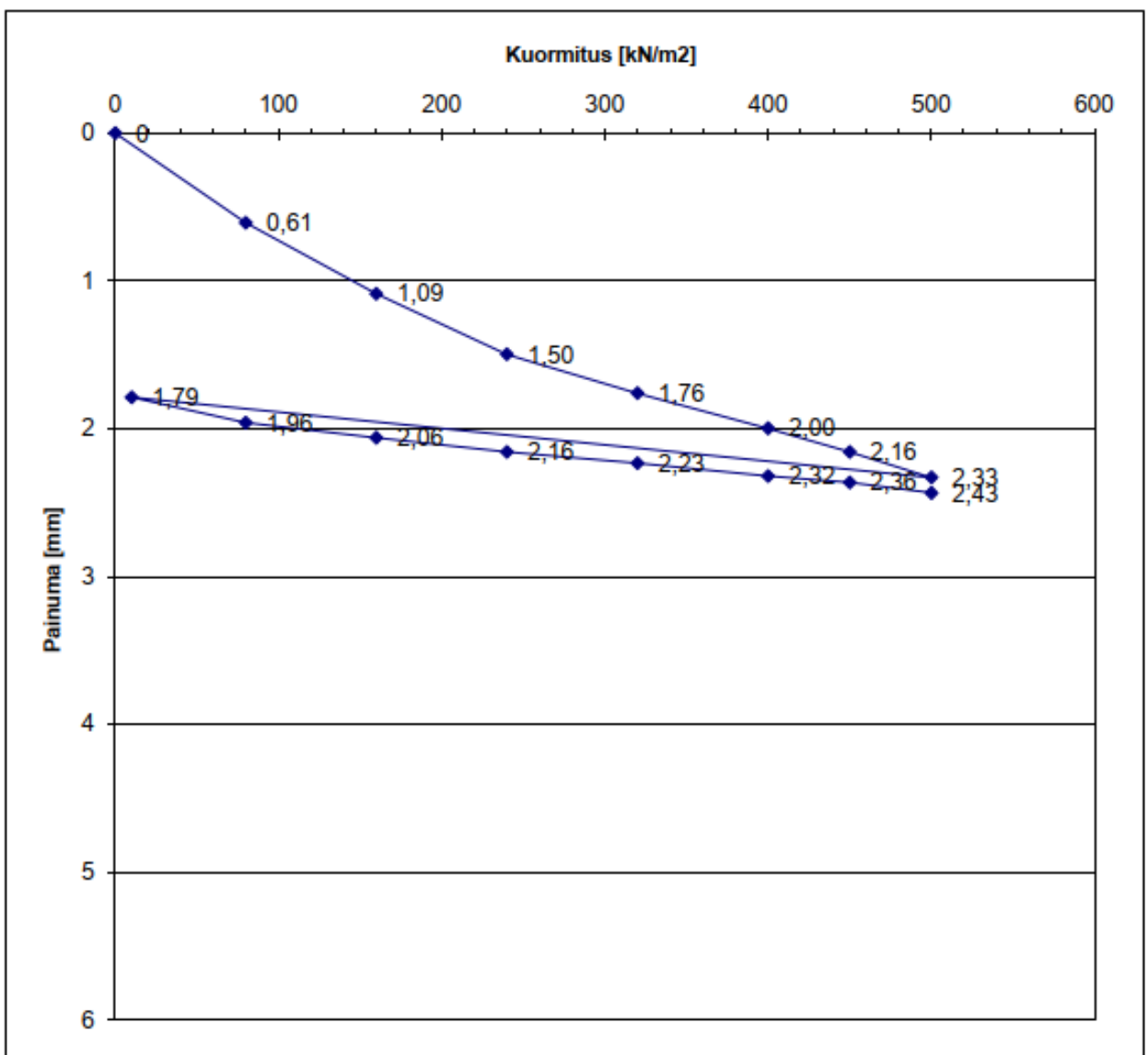


Liite 4. Saksa (kuorma-autosta)

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	4
Tilaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	<u>Karjakatu</u>	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	<u>5.9.2022</u>	Sijainti	PL 716
Tulokset		Vaativukset	

$E_1 =$	55 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	206 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	3,77	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Suomi (kuorma-autosta)

Levykuormituskoee

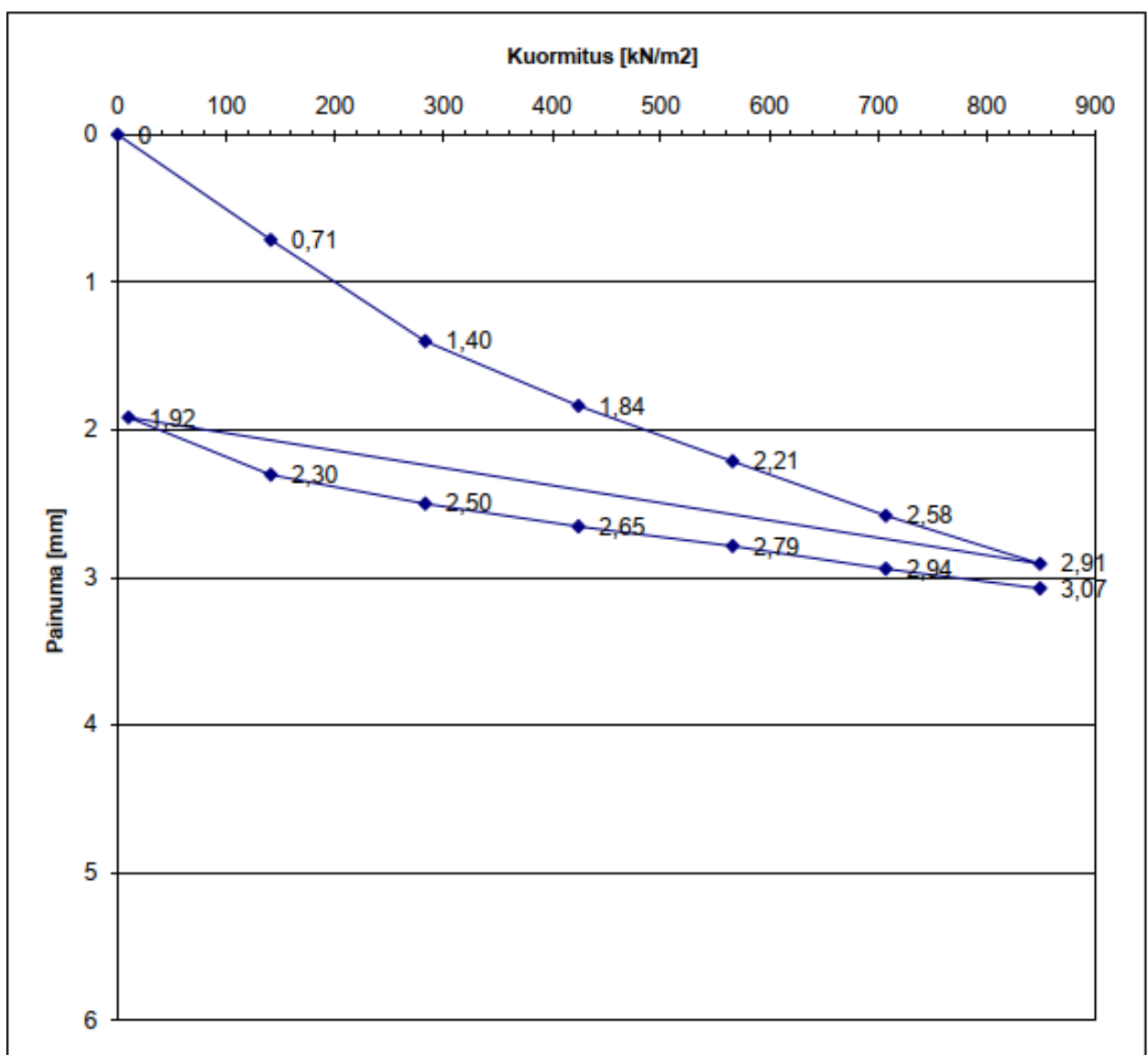
Työnumero _____
 Tilaaja _____
 Kohde Karjakatu
 Pvm 5.9.2022
 Tulokset

Piste/Paalu _____
 Kerros/Taso _____
 Kerroksen laatu _____
 Sijainti _____

5
Kantava
KaM
PL 714

Vaatimukset

$E_1 =$	75 MN/m ²	$E_1 \geq$	-	MN/m ²
$E_2 =$	214 MN/m ²	$E_2 \geq$	206	MN/m ²
$E_2/E_1 =$	2,87	$E_2/E_1 \leq$	2,50	



Liite 4. Saksa (kuorma-autosta)

Levykuormituskoe

Työnumero	_____	Piste/Paalu	6
Tilaaja	_____	Kerros/Taso	Kantava
Kohde	<u>Karjakatu</u>	Kerroksen laatu	KaM
Pvm	<u>5.9.2022</u>	Sijainti	PL 712
Tulokset	Vaatimukset		
$E_1 =$	40 MN/m²	$E_1 \geq$	- MN/m ²
$E_2 =$	174 MN/m²	$E_2 \geq$	206 MN/m²
$E_2/E_1 =$	4,33	$E_2/E_1 \leq$	2,50

